SCIENTIFIC DISCUSSION

VOL 1, No 107, (2025)

Scientific discussion
(Praha, Czech Republic)

ISSN 3041-4245

The journal is registered and published in Czech Republic.
Articles are accepted each month.
Frequency: 12 issues per year.
Format - A4
All articles are reviewed
Free access to the electronic version of journal

- **Chief editor**: Zbyněk Liška
- **Managing editor**: Štěpán Kašpar
- Leoš Vaněk (Prague, Czech Republic)
- Jarmila Procházková (Prague, Czech Republic)
- Hugues Bernard (Vienna, Austria)
- Philip Brinkerhoff (Cologne, Germany)
- Zofia Jakubowska (Warsaw, Poland)
- Łukasz Woźniak (Warsaw, Poland)
- Petr Novikov — (Bremen, Germany)
- Daniel Skvortsov — (Salzburg, Austria)
- Lyudmila Zhdannikova — (Kyiv, Ukraine)

Edition of journal does not carry responsibility for the materials published in a journal.
Sending the article to the editorial the author confirms it’s uniqueness and takes full responsibility for possible consequences for breaking copyright laws

«Scientific discussion»
Editorial board address: Korunní 1151/67, 130 00 Praha 3-Vinohrady
E-mail: info@scientific-discussion.com
Web: www.scientific-discussion.com

CONTENT

SECTION OF BIOLOGICAL AND MEDICAL SCIENCES

Valkova M.
IMPACT OF DIABETES MELLITUS ON COGNITIVE DELAY AMONG PATIENTS WITH ALZHEIMER'S DISEASE, VASCULAR AND MIXED DEMENTIA.....3

SECTION OF EARTH SCIENCES

Horyanu D., Shmuilo O.
MODELLING THE PROCESS OF USING SPACECRAFT FOR THEIR INTENDED PURPOSE.....7
Makarov V.
MIGRATION OF RARE EARTH ELEMENTS IN PARTICULATE MATTER OF THE URBAN ATMOSPHERE 12
Kenzhekhan A., Rysbekov K.
GEODETIC ANALYSIS OF LANDSLIDE RISK IN KAZAKHSTAN USING ARCGIS.....21
Kenzhegulova A., Baigurin Zh.
ANALYSIS AND MODELING OF NATURAL PROCESSES OF AGRICULTURAL LANDS USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES.....30

SECTION OF MATHEMATICS, PHYSICS, AND INFORMATICS

Quliyev S.
EXPLORING THE RELATIONSHIP BETWEEN GRAPHIC DESIGN AND PSYCHOLOGY 36

SECTION OF SOCIAL AND ECONOMIC SCIENCES

Kutsarova E., Hristov N., Yaneva R.
COMPARATIVE ANALYSIS OF TYPES OF COGNITIVE-BEHAVIORAL THERAPIES IN CHILDREN WITH LEARNING DIFFICULTIES.....39

SECTION OF BIOLOGICAL AND MEDICAL SCIENCES

IMPACT OF DIABETES MELLITUS ON COGNITIVE DELAY AMONG PATIENTS WITH ALZHEIMER'S DISEASE, VASCULAR AND MIXED DEMENTIA

Valkova M.
PhD, MD
Neurology Clinic, University Hospital "Sofiamed", Bulgaria
DOI: 10.5281/zenodo.18195159

Abstract

Aim of the study: to examine the additional effect of diabetes mellitus (DM) on cognitive delay of patients with Alzheimer's disease (AD), Vascular dementia (VD) and mixed dementia (MD).

Material and methods: We examined 45 elderly patients with DM (9 AD, 21 VD and 15 MD) and 101 patients without DM (38 AD, 56 VD and 37 MD) twice with the following neuropsychological battery: Mini Mental State Examination (MMSE), Isaack's Set Test (IST), Literal Fluency Test (LFT), 10 words memory test (10WMT), Clock Drawing Test (CDT), Digit Span Test (DST), Digit Symbol Substitution Test (DSST), Hamilton Depression Scale (HDS).

Results: DM was associated with additional MMSE scoring decrease in MD, IST delay among AD and MD, recognition decrease among VD and MD and DST forward impairment forward among AD. We found additional decrease on DSST scoring and delayed recall and increasing of HDS at all groups.

Conclusions: DM could cause mild additional cognitive deterioration and might increase the severity of depression in patients with AD, VD and MD even for the short period of time. The most affected cognitive domains are delayed recall, recognition and complex attention.

Keywords: diabetes mellitus, cognitive impairment, dementia.

Introduction: Alzheimer's disease (AD) and vascular dementia (VD) are the leading causes of dementia all over the world (Cao, 2020). They frequently coexist among elderly patients, known as mixed dementia (MD) (Custodio, 2017). Vascular risk factors and metabolic syndrome are strongly associated with both AD and VD (Qureshi, 2025). Diabetes mellitus type 2 (DM) is a significant risk factor for late onset AD, VD and MD (Custodio, 2017; Qureshi, 2025; Lemche 2025). Moreover, it is very frequent in adults with or without developed dementia (Sakib, 2023; Nagasawa, 2024; Sola, 2024). However, there is very few data on influence of DM on cognitive delay in cases with already developed cognitive impairments and dementia.

The objective of the study: The aim of our study was to examine the influence of DM on cognitive delay of patients with AD, VD and MD.

Material and Methods:

We examined 45 patients with DM (on the average age of 75.4±6.99 years, 15 males and 30 females, of them 9 with AD, 21 with VD and 15 with MD) and 101 patients without DM (on the average age of 77.29±7.63 years, 33 males and 68 females, of them 38 patients with AD, 56 with VD and 37 with MD).

The inclusion criteria for patients were (1) age 50-90 years; (2) The existence of AD or VD or MD, proved clinically, laboratory and with imaging (magnetic – resonance technique). Lack of space occupying brain process, brain operation, stroke. Lack of anamnesis for idiopathic or symptomatic epilepsy, brain injury or other brain diseases, different from AD or VD; (3) For patients with AD – only classical amnestic type of the disease. All patients with atypical phenotype were excluded.; (4) For patients with VD – we include only those with small vessels disease; MD patients should have degeneration due to AD+ small vessels disease only. (5) Existence of cognitive deficit at ≥2 cognitive domains at the beginning of the study and MMSE scoring between 18 and 25 points; (6) Lack of severe anxiety or moderate to severe depression and lack of history for mayor depression episode, mania, bipolar disorder or schizophrenia; (7) No use of psychoactive substances – alcohol, benzodiazepines, antipsychotics, antiepileptic drugs, opioids or prohibited substances; (8) Lack of decompensated somatic diseases; (9) Free willing to be included in the study and signed written inform consent.

Methods:

After clinical interview, proven of diagnosis on the basis of history of the disease, neuropsychological examination, laboratory and imaging data, the patients were included into the study.

They were examined twice – at the beginning of the study and two years after it.

The neuropsychological battery used included Mini Mental State Examination (MMSE), Isaack's Set Test (for semanticfluency), Literal Fluency Test (LFT, Bulgarian version type H-O-M-A, 1 minute for every letter) for phonemic fluency, 10 words memory test (10WMT, Bulgarian version), Clock Drawing Test (CDT), Digit Span Test (DST), 90 sec Digit Symbol Substitution Test (DSST), 21 Hamilton Depression Scale (HDS) and Spielberger-Hanin Anxiety Scale (SHAS). Patients with 21HDS≥15 points and those with SHAS ≥2.5 points were excluded.

For statistical analysis we used SPSS 20. ANOVA, MANOVA and paired T-tests and nonparametric tests for small samples were used. All results were interpreted at 95 confidential level (p 0.05).

Results:

1.Demographics. The demographic data is presented at table 1. Our samples were statistically comparable. There were no statistically significant differences by gender, age or formal education between DM and non DM groups. DM and nonDM patients had similar other vascular risk factors such as arterial hypertension, arterial fibrillation, ischemic heart disease and carotid atherosclerosis ($p>0.05$).

2. The impact of DM on cognitive delay.

DM was associated with additional cognitive impairments (additional cognitive delay) in all our patients (see table 2). However, there were no associations between DM and additional delays on some cognitive scales (LFT, Immediate recall, DST forward and CDT).

During our short period (2 years) we failed to find any association between MMSE decline and DM at overall group of our patients, AD group and VD group. But patients with MD showed bigger decrease of MMSE scoring in association with DM.

DM negatively impact the IST performance of patients with AD and MD, but not of those with VD.

We found statistically significant association between DM and decrease of DR performances of all patients but it was most prominent in cases with VD, followed by those with MD.

DM was associated with the delay of DST backward scoring only at the group of AD patients. However, patients with DM showed significantly more prominent deterioration in DSST scoring than those without.

Discussion:

The coexistence of dementia and diabetes is very high (Michailidis, 2022). In our relatively small cohort of 146 patients, DM was found in 30%. The association between dementia and DM is complex and includes coexistence of other vascular risk factors and engagement in atherosclerotic cascade, insulin resistance at important brain regions and decreased cleaning of amyloid (Chen, 2022). We failed to find any significant additional deterioration on overall cognitive performance, measured by MMSE, associated with DM in our patients with VD and AD. Lack of statistically significant correlation between DM and performances on screening tools for Cognitive impairments incl. MMSE was found from other authors (Li J, 2017). The explanation of this finding should be searched in the complex influences of factors such as development of additional compensatory mechanisms from diabetic brain, positive role of antidiabetic treatment on cognition and relatively slow deterioration of performances on these tests during the time of the follow up (Li J, 2017; Lei H, 2022). However, we found statistically significant additional deterioration on MMSE due to DM among patients with MD. The link between DM and cognitive delay of MD patients is unclear, but according to us it might be due to additionally impaired compensatory mechanisms of the brain, more aggressive course of dementia and the synergetic effects of other vascular factors in this group.

Although DM is not associated with additional delay of overall cognitive functioning in most of our patients, it is associated with more prominent decrease in some cognitive domains such as memory and executive functions.

We found additional DM associated deterioration of semantic, but not phonemic verbal fluency (VF) among patients with AD and MD, and no effect on those with pure VD. VF is defined as a cognitive function that "facilitates information retrieval from memory. It engages executive control and other cognitive processes, such as selective attention, selective inhibition, mental set shifting, internal response generation, and self-monitoring, as well as imagination and psychomotor skills" (Gierach, 2022). According to Reyes Bueno et al. (2024) patients with amnestic mild cognitive impairment and DM showed low results on VF tests vs those with mild nonamnestic cognitive impairment or those with amnestic cognitive impairment without DM, although the exact cause of such differences is unclear. The lack of DM effect on deterioration of VF in cases with VD was obtained. Sola et al. (2024) found only small effects of DM on phonemic VF and no effects on semantic one in community dowelled studies and studies on vascular cognitive impairment but not AD (Sola, 2024). Such findings are consistent with ours. And although it is well known that the development of small vessel disease is associated with DM and that it plays important role for VF impairment (Sola, 2024), DM patients with already developed vascular cognitive impairments might elaborate some specific compensatory mechanisms or other vascular and nonvascular factors might play more important role than DM itself.

We failed to find any association between DM and additional deterioration of working memory (measured by immediate recall and DST forward), results similar to those obtained from other studies (Reyes Bueno, 2024; Sola, 2024). But we found statistically significant (although mild) DM associated deterioration of complex attention (measured by DSST) among all groups. This was more prominent in cases with VD. Complex attention as a process that requires good white matter integration and connectivity. Prediabetes and DM causes microstructural abnormalities in white matter, leading to white matter disintegration and disconnection (Jing, 2022). These microstructural changes increase over time. We hypothesized that DM has synergetic with other vascular risk factors effect on white matter changes, which are most prominent in VD. On the other hand, patients with amnestic AD type with or without DM already have deficits of complex attention at the beginning of cognitive complains (Cummings, 2024) so the additional deterioration due to DM is not so obvious in these cases, but exists. AD patients with DM show mild additional deterioration of focused attention than those with AD but without DM. We found statistically significant effect of DM on the decrease of delayed recall (DR) among patients with AD, VD and MD. The results from previous studies are inconsistent. According to Nagasawa et al. (2024), DM is associated with DR impairment in elderly. Sakib et al. (2023) found significant association between DR decline and DM, more prominent among elderly than middle – aged patients. However other studies found no or negligible impact of DM on this cognitive domain (Sola, 2024).

We hypothesized that DM might play age related impact on DR in cases with dementia. Most of our patients (except those with AD) also showed mild but significant DM associated decrease of recognition, which is a marker of episodic memory, which may be due to the impact of DM on hippocampal volume and functions (Zhang, 2022).

DM impact the severity of depression in our patients, which also play important role for cognitive performances. The associations between DM, cognitive impairment and depression are found from other authors (Reyes Bueno, 2024; Sola, 2024, Khan, 2025) and are due to functional and structural changes of diabetic brain (Zhang, 2022; Khan, 2025). Such negative triad should be taken into account from the society and medical and social services. Khan et al. (2025) proposed "the integration of routine mental health screening for high-risk elderly T2DM patients and the development of comprehensive diabetes management programs that address both physical and mental health aspects".

Conclusions: DM could cause mild additional cognitive deterioration and might increase the severity of depression in patients with AD, VD and MD even for the short period of time. The most affected cognitive domains are delayed recall, recognition and complex attention.

Limitations of the study.

The first limitation of our study is associated with the relatively small samples conducted in it. The second limitation is due to the duration of follow up which is relatively short so our study represents only the short time effects of DM on cognitive domains and depression.

We propose more wide studies on DM associated deterioration of cognitive functions among patients with already developed cognitive impairment and dementia. Such studies could give responses to very important questions concerning the management of elderly patients with dementia, depression and DM and the exact needs of the social and medical systems that take care for such patients.

Table 1.

Demographics.

	AD n=	VD n=	MD n=	Total n=	Age	Male: female Ratio	Formal education (basic: middle: high)
Patients without DM	29	35	37	101 (69.18%)	77.29±7.63	33:68	6:58:37
Patients with DM	9	21	15	45 (30.82%)	75.4±6.99	15:30	6:25:14
Total	38	56	52	146 (100%)	p>0.05	p>0.05	p>0.05
Legend DM diabetes mellitus; AD – Alzheimer's disease; VD – Vascular dementia; MD – Mixed dementia Age – the exact age of patient at the period of inclusion into the study in years.							

Table 2.

The Additional effect of diabetes mellitus on the deterioration on cognitive performances.

The impact of DM on additional deterioration of:	All patients	AD	VD	MD
MMSE (p.)	p>0.05	p>0.05	p>0.05	p=0.0062
IST (p.)	p>0.05	p=0.0419	p>0.05	p=0.0456
LFT (p.)	p>0.05	p>0.05	p>0.05	p>0.05
10WMT				
Immediate recall (words)	p>0.05	p>0.05	p>0.05	p>0.05
Delayed recall (words)	p=0.0235	p=0.0451	p=0.0051	p=0.0275
Recognition (words)	p=0.0058	p>0.05	p=0.0032	p=0.0275
DST forward (p.)	p>0.05	p>0.05	p>0.05	p>0.05
DST backward (p.)	p>0.05	p=0.0415	p>0.05	p>0.05
DSST (p.)	p=0.0359	p=0.0368	p=0.0051	p=0.0409
CDT (p.)	p>0.05	p>0.05	p>0.05	p>0.05
21HDS increasing (p.)	p=0.0136	p=0.0098	p=0.0245	p=0.0129

References

1. Cao Q, Tan CC, Xu W, Hu H, Cao XP, Dong Q et al. The Prevalence of Dementia: A Systematic Review and Meta-Analysis. J Alzheimers Dis. 2020;73(3):1157-1166.

2. Chen W, Cai W, Hoover B, Kahn CR. Insulin action in the brain: cell types, circuits, and diseases. Trends Neurosci. 2022 May;45(5):384-400.

3. Custodio N, Montesinos R, Lira D, Herrera-Pérez E, Bardales Y, Valeriano-Lorenzo L. Mixed dementia: A review of the evidence. Dement Neuropsychol. 2017 Oct-Dec;11(4):364-370.

4. Cummings J, Osse AML, Cammann D, Powell J, Chen J. Anti-Amyloid Monoclonal Antibodies for the Treatment of Alzheimer's Disease. BioDrugs. 2024 Jan;38(1):5-22

5. Gierach M, Rasmus A, Orłowska E. Verbal Fluency in Metabolic Syndrome. Brain Sci. 2022 Feb 12;12(2):255.

6. Jing J, Zhou Y, Pan Y, Cai X, Zhu W, Zhang Z et al. Reduced white matter microstructural integrity in prediabetes and diabetes: A population-based study. EBioMedicine. 2022 Aug;82:104144.

7. Qureshi D, Allen NE, Kuźma E, Littlejohns TJ. Metabolic syndrome and risk of incident all-cause dementia, Alzheimer's disease and vascular dementia: a systematic review and meta-analysis of longitudinal studies. Alzheimers Res Ther. 2025 Aug 23;17(1):198.

8. Khan F, Hussain S, Singh S, Sawlani KK, Usman K, Sachan AK et al. A Cross-Sectional Study on the Prevalence and Predictors of Cognitive Impairment and Depression in Elderly Patients With Type 2 Diabetes Mellitus. Cureus. 2025 Jan 21;17(1):e77753.

9. Lemche E, Hortobágyi T, Kiecker C, Turkheimer F. Neuropathological links between T2DM and LOAD: systematic review and meta-analysis. Physiol Rev. 2025 Jul 1;105(3):1429-1486.

10. Lei H, Hu R, Luo G, Yang T, Shen H, Deng H et al. Altered Structural and Functional MRI Connectivity in Type 2 Diabetes Mellitus Related Cognitive Impairment: A Review. Front Hum Neurosci. 2022 Jan 6;15:755017.

11. Li J, Cesari M, Liu F, Dong B, Vellas B. Effects of Diabetes Mellitus on Cognitive Decline in Patients with Alzheimer Disease: A Systematic Review. Can J Diabetes. 2017 Feb;41(1):114-119.

12. Michailidis M, Moraitou D, Tata DA, Kalinderi K, Papamitsou T, Papaliagkas V. Alzheimer's Disease as Type 3 Diabetes: Common Pathophysiological Mechanisms between Alzheimer's Disease and Type 2 Diabetes. Int J Mol Sci. 2022 Feb 28;23(5):2687.

13. Nagasawa K, Matsumura K, Uchida T, Suzuki Y, Nishimura A, Okubo M et al. Global cognition and executive functions of older adults with type 1 diabetes mellitus without dementia. J Diabetes Investig. 2024 Jul;15(7):922-930.

14. Reyes Bueno JA, Sánchez-Guijo G, Ráez PD, García-Arnés JA, Garzón-Maldonado FJ, Castro VS et al. Effects of Type 2 Diabetes on the Neuropsychological Profile in Mild Cognitive Impairment. J Alzheimers Dis. 2024;99(3):887-897.

15. Sakib MN, Ramezan R, Hall PA. Diabetes status and cognitive function in middle-aged and older adults in the Canadian longitudinal study on aging. Front Endocrinol (Lausanne). 2023 Dec 1;14:1293988.

16. Sola T, Sola FM, Jehkonen M. The Effects of Type 2 Diabetes on Cognitive Performance: A Review of Reviews. Int J Behav Med. 2024 Dec;31(6):944-958.

17. Zhang T, Shaw M, Cherbuin N. Association between Type 2 Diabetes Mellitus and Brain Atrophy: A Meta-Analysis. Diabetes Metab J. 2022 Sep;46(5):781-802.

SECTION OF EARTH SCIENCES

MODELLING THE PROCESS OF USING SPACECRAFT FOR THEIR INTENDED PURPOSE

Horyanu D.,
Shmuilo O.
Zhytomyr Military Institute named after S. P. Korolyov
DOI: 10.5281/zenodo.18195173

Abstract

The article discusses an approach to modelling the process of using spacecraft for various purposes, including Earth remote sensing (ERS) systems, satellite communications, radar and radio-electronic reconnaissance. The relevance of the work is due to the growing need for high-precision forecasting of the capabilities and effectiveness of spacecraft use in civil and military tasks of operational observation and information support. The aim of the study is to create a structured methodology for modelling spacecraft application scenarios using modern software STK, WXTrack, Orbitron, and result analytics through QGIS and ArcGIS. The work applies methods of mathematical modelling of orbital dynamics, observation time windows, and geospatial assessment of coverage areas. The results of the study make it possible to preliminarily assess the effectiveness of mission planning depending on the type of spacecraft, orbit parameters, and specific operational tasks. The conclusions justify the feasibility of integrating automated planning tools to improve the adaptability of space operations management systems.

Keywords: spacecraft; modelling; remote sensing; STK; geoinformation systems; mission planning.

Relevance of the topic. The current development of space technologies demonstrates a rapid increase in the number of active spacecraft in various orbital segments. According to *ESA* and *NASA* data, as of 2023, more than 4,000 spacecraft, including small and microsatellites, will be operating in low Earth orbit (*LEO*) [1, p. 15]. This process is accompanied by a significant increase in the volume of information received and the need for high-precision mission planning. The effectiveness of satellite use directly depends on the accuracy of forecasting observation time windows, coverage areas, and data transmission parameters. This is especially true for Earth remote sensing, satellite communications, and electronic intelligence systems, where the timeliness and accuracy of the information obtained determine the success of operations in civil and military tasks. The development of such methods allows for more effective planning of space operations, reduces the risk of operational losses, and provides analytics for real-time decision-making. The relevance of the research is also due to the growing importance of autonomous and automated spacecraft control systems, which are a key factor in increasing the adaptability and reliability of space operations [2, p. 23].

Analysis of recent studies and publications relied upon by the author. In particular, aspects of modelling the processes of satellite application are addressed in publications *by Kaplan M.* [1], *Vallado D.* [2], *Wertz J.* [3], *Li Z. et al.* [4], *Crisp R.*, *Livadiotti G.*, *Roberts S.* [5] and others. The importance of integrating orbital dynamics, analysis of observation time windows, and geoinformation assessment of coverage is highlighted in the works *of ESA* (2020) [6], *NASA* (2021) [7], *Li et al.* (2022) [8], Kulyk Yu. (2022) [9], Polishchuk I. (2021) [10], Isaeva O. (2020) [11] and others. Scientific research has paid particular attention to the integration of modern geoinformation systems (*QGIS, ArcGIS*) with orbital dynamics models to assess the effectiveness of operations. Thus, Ukrainian researchers emphasise the importance of using GIS technologies to analyse coverage areas and observation time windows, which allows for more accurate forecasting and adaptive mission planning [9–11]. In addition, the works of Li et al. [4] and *ESA* (2020) [6] demonstrate that adaptive planning algorithms that take into account changes in task priorities and resource constraints significantly increase the efficiency of satellite missions. The combination of international and Ukrainian approaches allows for the creation of a comprehensive methodology for modelling spacecraft application scenarios, taking into account the type of spacecraft, orbit parameters, and the specifics of the operational task.

The purpose of this article is to create a structured methodology for modelling the process of spacecraft application for its intended purpose using modern tools such as *STK, WXTrack, Orbitron,* and analytics of results through *QGIS* and *ArcGIS.*

Presentation of the main material. Modelling the process of spacecraft application begins with determining its orbital parameters and analysing the coverage areas of the observation territory. The main characteristics of the orbit are the major semi-axis α, eccentricity e, orbital inclination i, argument of perigee ω, longitude of the ascending node Ω, and true anomaly θ. These parameters determine the satellite's trajectory and allow the calculation of the time windows of its visibility above any point on Earth. The radius of the orbit r at any point is determined by Kepler's classical formula:

$$r = \frac{\alpha(1 - e^2)}{1 + e \cdot cos\theta}$$

where:
r is the orbital radius, km;
a – semi-major axis of the orbit;
e – eccentricity;
θ – true anomaly.

To assess the possibility of observing a specific territory, the angle of the spacecraft's positionε above the horizon is used:

$$cos\ cos\ \varepsilon = \frac{R_з}{R_з + h}$$

where:

R_z – radius of the Earth, km;

h – orbital altitude, km;

ε – angle of location.

These formulas allow determining the time windows of satellite visibility and coverage area, which is critical for planning operations in remote sensing and satellite communication systems. In practice, calculations are performed using *STK, WXTrack*, and *Orbitron* software packages. *STK* allows you to simulate the spacecraft's trajectory, estimate observation time windows, and integrate the spacecraft's sensor data. *WXTrack* and *Orbitron* provide orbital parameter verification and visibility forecasting for different types of spacecraft. After receiving orbital data, geo-analytical processing is performed in *QGIS* and *ArcGIS* GIS systems. This allows you to estimate the coverage area in real geographical coordinates, take into account terrain restrictions and the presence of obstacles, and optimise the observation schedule for specific territories. This approach allows combining numerical modelling with visual analytics, increasing the accuracy of predicting the effectiveness of spacecraft in various operational scenarios. In addition, it is important to consider the adaptability of the model: orbit parameters and observation time windows may vary depending on mission priorities and environmental conditions, such as weather conditions for optical satellites or the state of the ionosphere for radio communications. The use of automated algorithms allows for rapid adjustment of the mission plan and ensures a high level of reliability and efficiency of operations.

To illustrate the practical application of modelling, let us consider the typical parameters of a remote sensing satellite. Table 1 shows an example of orbital characteristics used to calculate observation time windows and coverage areas:

Table 1

Satellite orbit parameters

Parameter	**Value**
Orbital altitude, km	700
Orbital inclination, °	98.2
Semi-major axis, km	7078
Eccentricity	0.001
Rotation period, min	99.1

Based on this data, the satellite coverage area is calculated for a given elevation angle

ε = 10° – 20°, which ensures minimum visibility and reduces the impact of obstacles such as terrain or clouds. Numerical algorithms that take into account the Earth's rotation speed and the position of the spacecraft in orbit are used to estimate visibility time windows. The data obtained is transferred to the *QGIS* and *ArcGIS* GIS systems to build coverage maps and analyse overlapping visibility zones. This allows you to determine the optimal time intervals for observations and plan missions taking into account task priorities. For example, for high-resolution satellites, short time windows over key observation objects are a priority, while for communication satellites, continuous coverage of certain territories is important. In addition, the extended model takes into account adaptive scenarios. If conditions change during operations (e.g., cloud cover for optical satellites or technical limitations of the platform), automated algorithms can adjust the observation schedule in real time. This increases the efficiency of satellite resource utilisation and allows for the timely acquisition of information necessary for operational decision-making.

For example, let's take the coordinates of the centre of the region: 48.5°N, 37.5°E (approximately the Donetsk region). Let us consider typical orbits: *LEO* (altitude ~700 km, sun-synchronous), *MEO* (altitude ~20,200 km — example of GPS class) and *GEO* (altitude ~35,786 km). Let us give a schematic assessment of the number of access windows and duration for a single spacecraft of each type, based on practical scenarios in Table 2 (optical Earth observation, radio communication, RL, REP).

Table 2

Example for different spacecraft by intended purpose

Orbit type	Approximate altitude (km)	Approximate number of sessions/day	Average session duration (min)	Comments
LEO (sun-synchronous)	≈ 600–800	3–8 (depends on inclination and ε_min)	5–12	High spatial resolution → suitable for optical Earth observation; limited access duration; requires planning of several passes.
MEO (GPS class)	≈ 2000–21000 (example GPS ~20200)	0–3 (more often for navigation/communication — a set of satellites)	10–40	Better for global navigation and some communication tasks; for a single satellite — loss of operational capability.
GEO (geostationary)	≈ 35786	Continuous (constant) if within range	Constant or hours	Ideal for communication/ retransmission; for optical Earth observation — low resolution.

The values given are approximate and depend on specific orbit parameters (inclination, eccentricity), sensor parameters (field of view, threshold *ε_min*) and satellite constellation. For example, a single LEO satellite at an altitude of 700 km usually provides several (3–8) passes with a useful elevation angle above a given point during a 24-hour period; a group of low-orbit satellites (constellation) can provide virtually continuous access.

In the modelling methodology for Ukraine, it is practical to use a combined approach: *LEO* for detailed images and operational reconnaissance, *MEO* for auxiliary navigation services and intermediate communication, and *GEO* for broadband communication channels and data retransmission.

The description is designed for sequential reproduction in an experiment or operational environment and includes a preparatory stage, model configuration, iterative simulation runs, and processing of results in a GIS system.

At the initial stage, input data is collected and verified: the exact coordinates of the area of interest (in the example — 48.5°*N*, 37.5°*E*), attribute layers (road network, settlements, infrastructure objects), observed targets and sensor parameters (field of view, spectral channels, elevation angle threshold *ε_min*). Modelling tasks are also defined: determining time windows for optical Earth observation, assessing permanent coverage for communication channels, modelling areas of influence of RL/RER systems. The collected data is standardised (*CSV, KML*, *Shapefile* formats) for import into *STK* and *ArcGIS*.

In the *STK* environment, a project is created and objects are added: spacecraft with defined orbital elements (*a, e, i, Ω, ω, M0*), ground objects (targets) and sensors. Additional parameters are set for the spacecraft: mass, solar panel area, energy limits (when modelling operating time), and sensor model (field of view parameters, frequency range, scanning mode). *STK* allows you to use built-in *ephemeris* and gravity models, as well as connect external *ephemeris* files (*TLE, SP3*) for realism. An important step is to set visibility criteria: minimum elevation angle *ε_min*, azimuth restrictions, restrictions from eclipses or prohibited zones.

After configuring the model, a series of runs is performed for the selected periods (e.g., day, week). For each run, *STK* generates access time windows, trajectory coordinates, elevation angles, distances, and other metrics. It is recommended to perform iterative modelling with varying parameters: *ε_min* (10°–20°), orbit altitude, initial argument of latitude, to assess the sensitivity of the results to key parameters. For scenarios with obstacles (e.g., eclipses, radio interference), *STK* can simulate zoning of the territory by climate or electromagnetic noise parameters using additional masks.

Data from *STK* is exported in *CSV, KML*, or *Shapefile* formats. It is important to export both detailed *access* records (with entry/exit timestamps) and coverage strips for each pass. It is also useful to save binary logs and sensor performance reports for further statistical analysis.

Imported layers are overlaid on a base map of the region of interest. Spatial aggregation procedures are used: merging coverage strips, constructing pass density maps, and analysing buffer zones to assess the area of influence. *ArcGIS* allows for multi-level analysis: combining time markers to animate passes, assessing intersections with key infrastructure objects, and calculating accessibility indicators (e.g., the proportion of territory with ≥N passes per day). Spatial statistics modules are used to assess risks. Additionally, an analysis is performed taking into account the terrain: construction of a digital terrain model, calculation of direct visibility zones to determine local screenings.

Based on integrated *STK+ArcGIS* data, reports are generated with key indicators: number and duration of access windows over the target area, average viewing time, geographic coverage density, vulnerable points with insufficient coverage. The resulting maps and tables are used to make decisions on schedule optimisation: changing orbital parameters, adding satellites to the constellation, or reconfiguring sensor modes.

It is recommended to verify the simulation results by comparing them with real observations (TLE/orbital data, archive passes, real images or communication

logs). Validation includes statistical evaluation of simulation errors: calculation of deviations in access time and distances, as well as sensitivity analysis to changes in input parameters. To increase the reliability of the model, it is advisable to include scenarios with simulated errors (e.g., deviations in orbital parameters, reduced sensor sensitivity).

Automation and integration. To ensure the operational use of the methodology, it is advisable to automate the *STK→ArcGIS* chain using scripts (*Python* — using *STK Connect/AGI SDK* and *arcpy* or *ArcPy-like* tools in *QGIS*). This allows you to generate regular reports, update coverage maps taking into account updated *ephemeris* and meteorological information (e.g., cloud cover for optical sensors), and run adaptive planning scenarios. A flowchart of the methodology for modelling the process of using spacecraft for their intended purpose is shown in Fig. 1.

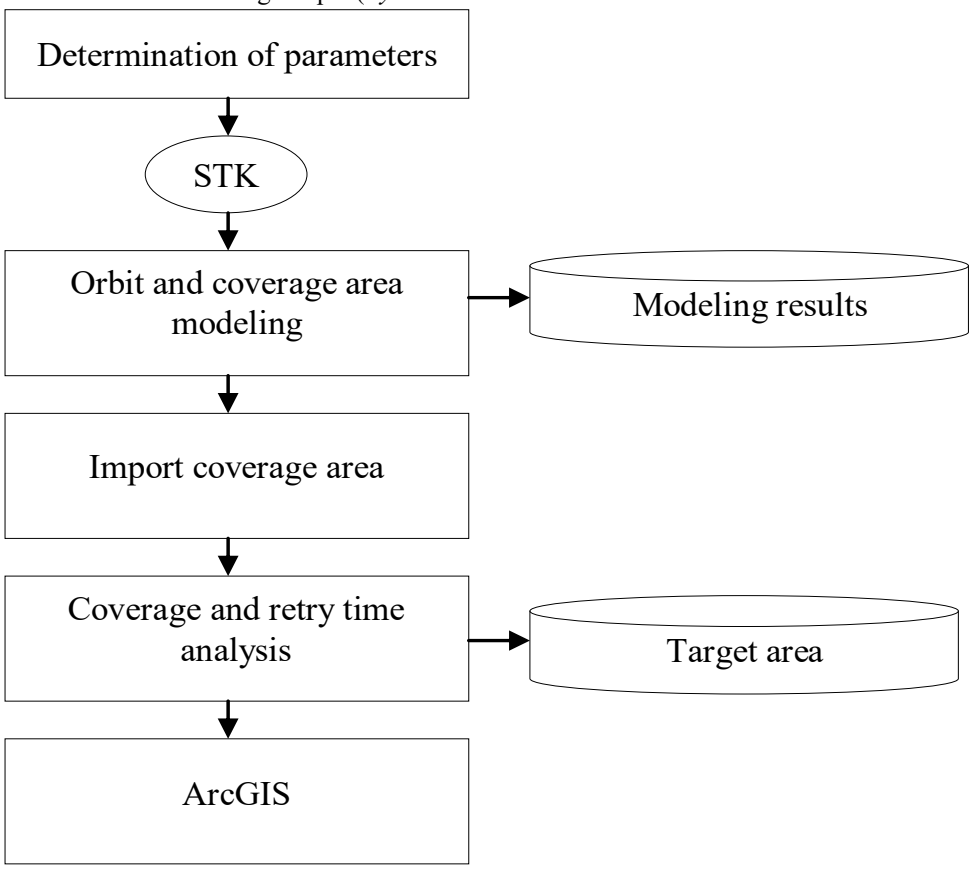


Fig. 1. Block diagram of the methodology for modelling the process of using a spacecraft for its intended purpose

Conclusions and prospects for further research. The modelling carried out using the *STK* environment and subsequent geospatial analysis in *ArcGIS* confirmed the effectiveness of the combined approach for assessing the capabilities of spacecraft in monitoring combat zones. The methodology allows not only to determine time windows of access over a specific territory, but also to perform a spatial assessment of coverage, taking into account real constraints on terrain, infrastructure and tactical factors. The results show that low-orbit (LEO) satellite constellations provide the highest operational efficiency for high-detail observation, but to ensure continuous information support, it is advisable to combine them with MEO or GEO segments. This multi-orbit concept significantly improves the stability and adaptability of the space- s support system. Further research should be focused on developing a fully automated STK → ArcGIS cycle with adaptive scenario planning in real time. It is also promising to expand the model to take into account meteorological conditions (cloud cover for optical devices), the impact of radio-electronic suppression, and the use of multi-sensor optimisation (optical + RL + REP simultaneously). This will allow the construction of a digital "decision-making cycle" at the command post level with minimal delay and maximum relevance to the operational situation.

References

1. Kaplan, M. Modern Spacecraft Dynamics and Control. Wiley, 2018.

2. Vallado, D. Fundamentals of Astrodynamics and Applications. Microcosm Press, 2019.

3. Wertz, J. Space Mission Analysis and Design. Springer, 2018.

4. Li, Z., Wang, Y., Chen, H. Remote-Sensing Satellite Mission Scheduling Optimisation Method under Dynamic Mission Priorities. Mathematics, 2024, 12(11), 1704.

5. Crisp, R., Livadiotti, G., Roberts, S. A Semi-Analytical Method for Calculating Revisit Time for Satellite Constellations with Discontinuous Coverage. arXiv, 2018.

6. ESA. Earth Observation Mission Planning

Handbook. European Space Agency, 2020.

7. NASA. Satellite Operations and Ground Systems. NASA Technical Reports, 2021.

8. Li, Z., et al. Autonomous Mission Planning Method for Optical Imaging Satellites Based on Real-Time Cloud Cover Information. Remote Sensing, 2022, 14(11), 2635.

9. Kulik, Yu. Geoinformation technologies in space research. Kyiv: NAU, 2022.

10. Polishchuk, I. Modelling of Orbital Processes in Remote Sensing Systems. Journal of Space Research, 2021, No. 3.

11. Isaev, O. Using ArcGIS to analyse satellite missions. Geoinformatics, 2020, No. 4.

12. NOAA. Satellite Data Systems Overview. Washington D.C., 2022.

13. ESA. Copernicus Programme: Mission Status Report. European Space Agency, 2023.

МИГРАЦИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВО ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВАХ ГОРОДСКОЙ АТМОСФЕРЫ

Макаров В.
д.г.-м.н., профессор, главный научный сотрудник
лаборатории подземных вод и геохимии криолитозоны
Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН

MIGRATION OF RARE EARTH ELEMENTS IN PARTICULATE MATTER OF THE URBAN ATMOSPHERE

Makarov V.
Permafrost Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
DOI: 10.5281/zenodo.18195186

Аннотация

Изучалось распределение редкоземельных элементов (РЗЭ) в приземной атмосфере северного горола Якутска. Исследовался химический состав взвешенных веществ (ВВ) в летней и зимней (снежный покров) атмосфере. Установлено, что в летней атмосфере РЗЭ концентрируются преимущественно в пылевой фракции ВВ, в комплексе с группой сидерофильных элементов. Зимние ВВ более однородны по размерам частиц. Средняя концентрация РЗЭ в летних ВВ 0.0n-10n, в зимних ВВ – 0.0n-n мг/кг. В системе почва-ВВ пыль-ВВ снег наблюдается равномерное понижение концентрации РЗЭ и постепенное уменьшение отношения La/Y. Основная масса РЗЭ – около 99% выпадает из атмосферы в теплый период года. Объем атмосферного поступления РЗЭ на территорию города составляет в среднем около 625 мкг/м^2·сут, в основном за счет La, Ce, Nd и Y. На участках атмохимических аномалий в северной промышленной части города эта величина возрастает в два-три раза. Суммарное выпадение РЗЭ на территорию города составляет около $1.2 \cdot 10^{-2}$ % от годового объема поступления загрязняющих веществ из атмосферы.

Abstract

Study was undertaken to investigate the distribution of rare-earth elements in the urban atmosphere northern city of Yakutsk. The chemical composition of atmospheric particulate matter was examined in summer and winter (snow cover). The results indicate that in summer of rare-earth elements primarily concentrate in the dust fraction of particulate matter, together with siderophile elements. Wintertime particulate matter is more dispersed. The average of rare-earth elements concentrations are 0.0n-10n in summer particulate matter and 0.0n-n mg/kg in winter particulate matter. In the soil-particulate matter dust-particulate matter snow, there is a uniform decrease in of rare-earth elements concentration and a gradual reduction in the La/Y ratio. The bulk of atmospheric of rare-earth elements (about 99%) is deposited during summer. The average deposition flux for the city is 625 μg/m^2·day, primarily consisting of La, Ce, Nd and Y. In the northern, industrial part of Yakutsk with more contrasting anomalies, the flux is two to three times higher. The total of rare-earth elements deposition in Yakutsk comprises approximately $1.2 \cdot 10^{-2}$ % of the annual atmospheric deposition of pollutants.

Ключевые слова: атмосфера, взвешенные вещества, город, редкоземельные элементы, снежный покров.

Keywords: atmosphere, particulate matter, urban, rare-earth elements, snow cover.

Введение

Загрязняющие воздух взвешенные вещества (ВВ) - это твердые частицы, атмосферные аэрозоли, непосредственно поступающие в воздух, и частицы, образующиеся в процессе превращения газов. Размер частиц в воздухе колеблется от 0.01 до 100 мкм. Установлена серьезная угроза здоровью людей при их воздействии [1]. Уровень загрязнения ВВ является одним из важнейших показателей качества воздуха, которым дышат люди. Взвешенные вещества - недифференцированная по составу пыль (аэрозоль), содержащаяся в воздухе населенных пунктов; показатель вредности - резорбтивное действие, класс опасности – 3 [2].

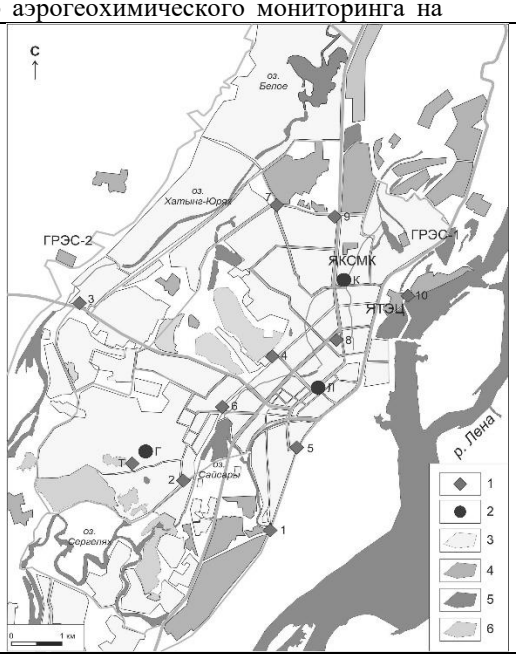
Угрозу здоровью населения могут представлять и присутствующие в ВВ химические элементы различного класса токсичности. В последнее время установлено, что РЗЭ оказывают токсическое действие на людей и поэтому возникает необходимость изучения распространения этой группы элементов в окружающей среде и разработки нормативов содержания РЗЭ в природных средах и продуктах питания. Предполагается, что лантаноиды не так токсичны, как некоторые другие тяжелые металлы и металлоиды, но они могут оказывать хроническое воздействие на организм человека и приводить к долгосрочным неблагоприятным эффектам, особенно в регионах с высокими уровнями РЗЭ [3, 4]. В тоже время, известны антиоксидантные эффекты, связанные с РЗЭ, при лечении многих заболеваний [5].

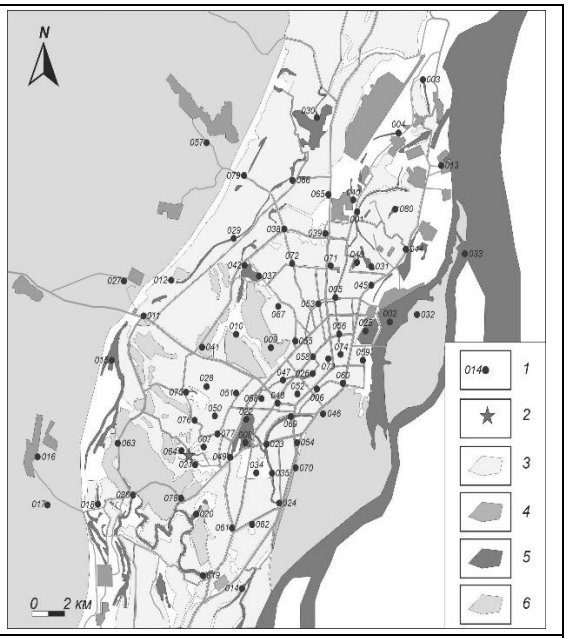
Информация о РЗЭ все еще является относительно недостаточной, что привело к неоднозначным мнениям относительно пользы для здоровья и токсического воздействия этих элементов. Остается практически не изученным распространение РЗЭ в окружающей среде селитебных зон, особенно в северных районах.

Материалы и методы

На территории г. Якутска было проведено геохимическое изучение ВВ в летней и зимней (по

снежному покрову) приземной атмосферы. Для исследования ВВ летней атмосферы на территории города было установлено 10 пылесборников (рис. 1 а). Сбор пыли происходил в период с 17 июля по 15 октября 2019 г. Использовались также данные круглогодичного аэрогеохимического мониторинга на стационаре Института мерзлотоведения СО РАН «Туймаада». Для получения сведений о зимней атмосфере в марте 2020 г. на территории города было отобрано 80 проб снега (рис. 1 б).





а). Схема отбора проб в летний период - пункты наблюдений ЯУГМС; 2 – пылесборники;

б). Схема отбора проб в зимний период 1- пункты отбора снега; 2 – стационар «Туймада»

3 – селитебная зона; 4 – промышленные зоны; 5- река, озера; 6 – леса, луга.

Рис. 1. Схемы фактического материала

Фоновый участок наблюдений находился в районе оз. Чабыда в 25 км к юго-западу от города за пределами зоны техногенного воздействия. Пробы снега отбирались в оптимальный период для изучения снежного покрова, непосредственно перед началом таяния, в течение нескольких дней во второй половине марта. На точке наблюдений снег отбирался на площадке 30 × 30 см. Минимальная удалённость от проезжей части составляла не менее 30 м, в большинстве случаев – более 200 м. Для отбора пробы использовали маркированный по 0,5 см стеклянный цилиндр диаметром 82 мм со стальным окаймлением, который. опускали с поверхности снежного покрова на плоскую прямоугольную стальную лопатку на высоте 1,5 см от почвы либо у поверхности льда (рис. 2).

Рис. 2. Отбор пробы снега (фото Н.В.Торговкина).

Пробу упаковывали в пластиковый пакет и помещали на электронные весы для расчёта массы снега и определения его плотности. Пробы ежедневно поступали в лабораторию Института мерзлотоведения СО РАН, где снег плавился при комнатной температуре. После полного таяния пробу разделяли на твёрдую и жидкую фазы путём фильтрования через бумажные фильтры «синяя лента» с диаметром пор 1 мкм.

Аналитическая обработка геохимических проб проведена в лаборатории подземных вод и геохимии криолитозоны ИМЗ СО РАН (аналитики Л.Ю.

Бойцова, Е.С. Петрова, О.В. Шепелева) и в Аналитическом сертификационном испытательном центре Института проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН. Содержание РЗЭ определялось атомно-эмиссионным (iCAP-6500, Thermo Scientific, США) и масс-спектральным (X-7, Thermo Elemental, США) методами анализа. Все анализы были выполнены по аттестованным методикам с использованием стандартных образцов сравнения и с необходимыми процедурами контроля.

Описание района

Город Якутск располагается в среднем течении р. Лена, в широкой долине Туймаада и протягивается вдоль левого берега реки на 20 км. Численность населения города 361 тыс. человек (01.01.2024 г.). Планировочная структура города радиально-кольцевая. Характер застройки не ровный: на окраинах города — преимущественно одно- и двухэтажные деревянные строения, в центральной части - капитальная застройка каменными зданиями (от 4-5 до 9-16 этажей).

По классификации климатов Якутск находится в зоне действия климата недостаточно влажного (индекс сухости от 1.0 до 2.0), умеренно теплого (в летний период), с суровой малоснежной зимой [6]. Среднегодовая температура воздуха за период непрерывных метеонаблюдений (1883 – 2020 гг.) варьирует в пределах -7.2 – -12.1°С, среднегодовое количество осадков – 235 мм.

В городе насчитывается порядка 160 крупных предприятий, имеющих стационарные источники выбросов в атмосферу, и выбрасывающих ежегодно 11700 тонн загрязняющих веществ [7]. Стационарные источники выбросов преимущественно объекты теплоэнергетики: купные электростанции и многочисленные котельные, в основном работающие на газовом топливе, и предприятия стройиндустрии.

По данным ГИБДД Якутска, в 2018 г. в столице и пригородах зарегистрировано порядка 119 тысяч единиц автотранспорта, выбрасывающих в атмосферу около 34 тыс. т загрязнителей.

Геологическое строение района определяется его положением в зоне стыка двух крупных структур Сибирской платформы: Алданской антеклизы и Вилюйской синеклизы. В геохимическом отношении территория находится на стыке Вилюйской лито-сидерофильной области с кларковым уровнем накопления V, Ti, Mn, P, Sb, Sn, Li, Nb, U и Лено-Алданской халькофильной зоны с накоплением Se, Pb, Ag, Bi, Au [8]. Характер кларкового концентрирования РЗЭ в компонентах зоны гипергенеза, которые являются источниками вещества привносимого в атмосферу, приведен в табл. 1.

Таблица 1

Концентрация РЗЭ в геологических компонентах зоны гипергенеза [9, 10]

Компоненты зоны гипергенеза	Коэффициент концентрации относительно КЗК [11]			Кол-во проб
	0,7-1,0	1,0-1,5	>1,5	
Породы, aQ_{III}^4 - Q_{IV}^1 галечник, пески, супеси, глина, торф	La, Yb, Sc	Y	-	124
Почвы города урбаноземы, экраноземы	Yb, La, Sc	Y	-	1769

Примечание: КЗК – кларк земной коры.

Аллювиальный комплекс aQ_{III}^4 - Q_{IV}^1 представлен в нижней части разреза галечниками и песками, а в верхней состоит из песков, супесей и суглинков, глин и торфа. В почвенном покрове на территории города доминируют урбаноземы и экраноземы различной мощности и характера образования. Как в породах аллювия, так и в почвах наблюдается кларковое присутствие большинства РЗЭ и незначительное накопление иттрия по сравнению с кларком земной коры.

Мощность многолетнемерзлых пород на территории города 250-450 м, сезонноталого слоя (СТС) – 1,5-2,0 м.

Результаты и обсуждение

Редкоземельные элементы представляют собой группу из 17 элементов: элементов-лантаноидов: La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tu, Yb, Lu, а также Sc и Y. По химическим свойствам и совместному нахождению в природе делятся на подгруппы: иттриевую (Y, La, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tu, Yb, Lu) и цериевую (Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu). По атомной массе лантаноиды подразделяются на: лёгкие — La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu и тяжёлые — Y, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu.

Наблюдается растущий интерес к распределению РЗЭ в окружающей среде, особенно с точки зрения токсического воздействия этих элементов.

На территории г. Якутска было проведено изучение распространения, концентрации и объема поступления РЗЭ на поверхность из летней и зимней приземной атмосферы. Фоновое содержание РЗЭ во ВВ приземной атмосферы приведено в табл. 2.

Таблица 2

Фоновое содержание РЗЭ во ВВ летней и зимней атмосферы, мг/кг

Элементы	Взвешенные вещества		Лето/Зима
	Летний период	Зимний период	
Sc	4,85	0,080	61
La	18,40	0,500	37
Ce	41,90	0,480	87
Pr	4,30	0,050	86
Nd	15,80	0,203	78
Sm	2,90	0,040	72
Eu	0,67	0,010	67
Gd	2,40	0,038	63
Tb	0,36	0,004	90
Dy	2,10	0,032	66
Ho	0,40	0,005	80
Er	1,20	0,015	80
Tm	0,16	0,001	160
Yb	1,10	0,015	73
Lu	0,16	0,002	80
Y	10,80	0,190	57
Сумма	**107,50**	**1,665**	**65**
%	99,3	0,7	-
La/Y	1,7	2,6	-

Суммарное содержание РЗЭ во ВВ летней атмосферы, в окрестностях города за пределами техногенного воздействия - 107,50 мг/кг в 65 раз выше, чем в и зимней - 1,66 мг/кг. Как в летних, так и зимних ВВ атмосферы фонового района преобладают лантаноиды, роль которых максимальна в твердой фазе снежного покрова. Резкое преобладание РЗЭ в летней атмосферной пыли и близость и их концентрации в ВВ и в осадочных породах являются признаками интенсивного эолового поступления РЗЭ в атмосферу с поверхности земли и с лесными пожарами, интенсивными в июле-августе. В зимнее время пылевое поступление в атмосферу за пределами городской территории практически отсутствует, что приводит к понижению концентрации РЗЭ во ВВ атмосферы почти на два порядка.

По данным анализа материала, собранного пылесборниками на территории города, ВВ в летней приземной атмосфере полидисперсны и представляют собой совокупность твердых частиц разного размера. Дисперсный состав ВВ в основном относится к собственно пыли: фракция PM_{10-100} – около 70% (PM – аббревиатура “particulate matter”, цифра показывает содержание всех частиц диаметром 10-100 мкм). Для РЗЭ наблюдается преимущественное накопление в пылеватых фракциях, в комплексе с группой сидерофильных элементов - Ti, Mn, Co, Ni, Zn, Ga, Sr, Zr, Sn, W, поступающих в атмосферу в основном с минералами группы железа.

Минеральный состав основной массы «летних» ВВ (PM_{10-100}) в атмосфере города представлен в легкой фракции: кварцем и карбонатами (по 36%) и полевым шпатом (24%); в тяжелой: преимущественно амфиболами (49%), эпидотом и пироксенами (10-11%), ильменитом и гранатами (около 7%). Более дисперсная «зимние» ВВ (PM_{10}) сложены в основном карбонатами (около 70%), углистыми соединениями (15%), включениями кварца и полевого шпата (10%) и ожелезненного растительного детрита (5%).

Во ВВ городской атмосферы формируются геохимические аномалии тяжелых металлов, редких, рассеянных, радиоактивных и редкоземельных элементов природного и техногенного происхождения. В таблице 3 представлены усредненные данные по концентрации РЗЭ в ВВ летней и зимней городской атмосфере Якутска.

Таблица 3

Среднее содержание РЗЭ во ВВ летней и зимней городской атмосфере, мг/кг

Элементы	Взвешенные вещества		Лето/Зима
	Летний период	Зимний период	
Sc	5,87	3,22	1,8
La	23,50	7,32	3,2
Ce	45,80	15,56	2,9
Pr	5,10	1,71	3,0
Nd	18,90	7,09	2,7
Sm	3,50	1,51	2,3
Eu	0,82	0,36	2,3
Gd	2,80	1,19	2,4
Tb	0,42	0,17	2,5
Dy	2,40	1,05	2,3
Ho	0,47	0,20	2,4
Er	1,37	0,57	2,4
Tm	0,19	0,08	2,4
Yb	1,32	0,54	2,4
Lu	0,19	0,08	2,4
Y	12,70	5,70	2,2
Сумма	**125,4**	**46,4**	**2,7**
La/Y	**1,85**	**1,28**	
С/фон	**1,2**	**27,4**	

Суммарное содержание РЗЭ в ВВ городской атмосфере Якутска изменяется от 125,4 мг/кг в летней до 46,4 мг/кг в зимний период. Содержание РЗЭ в ВВ летней атмосфере г. Якутска почти в 3 раза выше, чем в зимней. Соотношение концентрации РЗЭ в городской атмосфере резко изменяется по сравнению с фоновой территорией. Если в летней городской атмосфере концентрация РЗЭ превышает фоновые значения, примерно на 20%, то в зимний период происходит резкое почти тридцатикратное повышение концентрации РЗЭ над фоном.

Таблица 4

Среднее содержание РЗЭ в ВВ летней и зимней атмосферы г. Якутска, мг/кг

Элементы	Взвешенные вещества					
	Летний период			Зимний период		
	Город	Фон	Город/фон	Город	Фон	Город/фон
Sc	5,87	4,85	1,2	3,22	0,080	40,2
La	23,50	18,40	1,3	7,32	0,500	14,6
Ce	45,80	41,90	1,1	15,56	0,480	32,4
Pr	5,10	4,30	1,2	1,71	0,050	34,2
Nd	18,90	15,80	1,2	7,09	0,203	34,9
Sm	3,50	2,90	1,2	1,51	0,040	37,8
Eu	0,82	0,67	1,2	0,36	0,010	36,0
Gd	2,80	2,40	1,2	1,19	0,038	31,3
Tb	0,42	0,36	1,2	0,17	0,004	42,5
Dy	2,40	2,10	1,1	1,05	0,032	32,8
Ho	0,47	0,40	1,2	0,20	0,005	40,0
Er	1,37	1,20	1,1	0,57	0,015	38,0
Tm	0,19	0,16	1,2	0,08	0,001	80,0
Yb	1,32	1,10	1,2	0,54	0,015	36,0
Lu	0,19	0,16	1,2	0,08	0,002	40,0
Y	12,70	10,80	1,2	5,70	0,190	30,0
Сумма	**125,4**	**107,50**	**1,2**	**46,4**	**1,665**	**27,4**
Сумма (-Sc)	119,5	102,7		43,2	1.58	27,3
La/Y	1,85	1,70		1,28	2,6	

Как в летней, так и в зимней приземной атмосфере Якутска, легкие РЗЭ во ВВ превалируют над тяжелыми, примерно в равном соотношении 4:1, что соответствует кларковому для земной коры (Виноградов, 1962). Содержание РЗЭ во ВВ атмосферы аналогично средней концентрации РЗЭ в городских почвах. В большинстве случаев концентрирование РЗЭ в почвах связано с присутствием ряда минералов, таких как апатит (Y, РЗЭ замещают Ca) и циркон (Y, ТРЗЭ замещают Zr), суммарная концентрация которых в тяжелой фракции минерального состава равна 7%. Примерно такое же

количество апатита и циркона содержится в тяжелой фракции летних ВВ (PM_{10-100}) в атмосфере города ~ 6%.

РЗЭ во ВВ летней и зимней атмосферы формируют обширные малоконтрастные ореолы, примерно равные по площади, преимущественно в северной промышленной части города.

Среднее содержание РЗЭ в компонентах атмосферы и литосферы по мировым данным, а также и в районе Якутска представлено в табл. 5.

Таблица 5

Среднее содержание РЗЭ в компонентах окружающей среды, мг/кг

Природная среда		La	Ce	Nd	Y	Источники
Атмосфера						
Якутск	Аэрозоли лето, нг/л	1.12	2,38	-	-	Автор
	Аэрозоли зима (снег), мкг/л	0,121	0,222	0,100	0,066	
	ВВ зима (снег), мг/кг	7,3	15,6	7,1	5,7	
	ВВ лето, мг/кг	23,5	45,8	18,9	12,7	
Литосфера, мг/кг						
Литосфера		20	40	20	30	[11]
Пески, песчаники		17-100	25-80	16-48	15-200	[12]
Почвы подзолистые		5-21	44-56	19-26	7-30	
Почво-грунты, Якутск		16,6	≥15	-	22,8	
Гидросфера, мкг/л						
Надмерзлотные воды		5,82	11,75	4,92	3,37	[13]
Подмерзлотные воды (J_1)		0,041	0,037	0,030	0,044	Автор

Наблюдается равномерное понижение концентрации РЗЭ в системе: почвы - ВВ летние - ВВ зимние.

Величина коэффициента аэрозольной аккумуляции показывает, что при формировании аэрозолей концентрация РЗЭ во ВВ понижается на один математический порядок по сравнению с аллювиальными почвами Центральной Якутии и для РЗЭ характерна отрицательная интенсивность аэрозольного обогащения. Пониженная концентрация РЗЭ в континентальных аэрозолях района обусловлена составом исходного материала – преимущественно супеси и песка, поступающих в тропосферу в качестве аэрозольных частиц.

Основная масса РЗЭ – около 99% выпадает из атмосферы в пылевой фазе в теплый период года. Ежесуточное поступление РЗЭ из атмосферы в это время составляет в среднем 625 мкг/м^2·сут (отношение La/Y=1,8), с преобладанием в составе выпадений Ce, La и Nd (табл. 6).

На зимние твердые впадения ВВ (преимущественно фракция PM_{10}) приходится всего около 1% от общей массы поступления РЗЭ, из атмосферы на территорию города. Ежесуточное суммарное поступление РЗЭ, из атмосферы в холодный период на два порядка ниже, чем летом - 6,93 мкг/м^2·сут (отношение La/Y=1,4). Максимальный объем зимних атмосферных выпадений наблюдается для La и Ce около 1-2 мкг/м^2·сут (см. табл. 6).

Таблица 6

Ежесуточное поступление РЗЭ из атмосферы в течение года, мкг/м^2·сут

Элементы	Взвешенные вещества		
	Летний период	Зимний период	Годовая сумма выпадений
La	118	1,089	119
Ce	229	2,309	231
Pr	25,5	0,241	26
Nd	94,5	0,957	95
Sm	17,5	0,196	18
Eu	4,1	0,042	4
Gd	14	0,159	14
Tb	2,1	0,022	2
Dy	12	0,134	12
Ho	2,4	0,027	2,4
Er	6,8	0,077	6,9
Tm	0,9	0,010	0,9
Yb	6,6	0,069	6,7
Lu	0,9	0,010	0,9
Y	63,5	0,789	64
Сумма	**625**	**6,93**	**632**
%	99	1	100
La/Y	1,86	1,38	1,86
La/Y	alQ		0,84
La/Y	Почвы		0,73

Основные объемы поступления РЗЭ из атмосферы (выше > 50 мкг/м^2·сут) определяются выпадением группы легких РЗЭ (Ce, La, Nd) и Y. Как в летних, так и в зимних ВВ преобладает поступление Ce. По уменьшению объема выпадений РЗЭ они образуют следующий ряд: Ce > La > Nd > Y.

В системе породы-почвы отношение La/Y практически идентично 0,73-0,84. В атмосфере, в летних и зимних ВВ отношение La/Y увеличивается почти в два раза до, соответственно 1,86 – 1,38, за счет возрастания влияния цериевой группы. В связи с этим можно полагать, что в системе: породы→почвы→ атмосфера (ВВ), окружающей среды города, наблюдается некоторое улучшение экологической обстановки по РЗЭ, так как соединения подгруппы Ce (La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm) менее токсичны, чем соединения подгруппы Y (Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er,Tm, Yb, Lu, Sc, Y) [4].

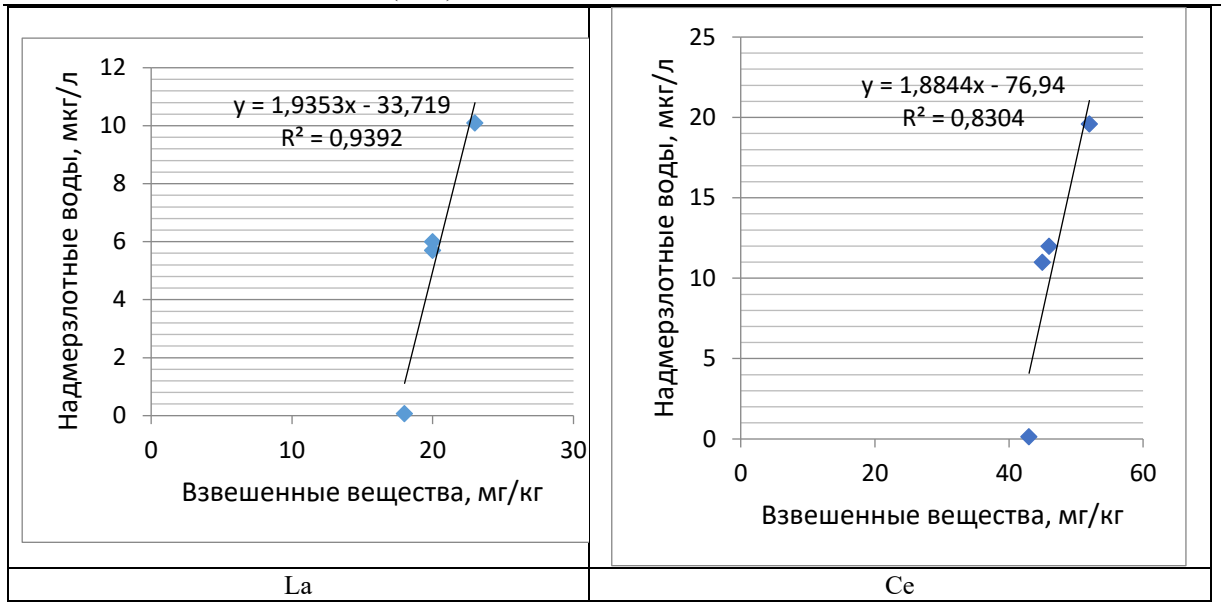
Общий объем атмосферного поступления РЗЭ на территорию города оценивается цифрой около 633 мкг/м^2·год, основную массу которого слагают Ce, La, Nd и Y. На участках контрастных аномалий эта величина может возрастать в два-три раза, также за счет этой группы РЗЭ.

Суммарное выпадение РЗЭ составляет примерно $1{,}2\cdot10^{-2}$ % от годового объема поступления загрязняющих веществ из атмосферы на территорию Якутска.

В почвы и грунты сезонноталого слоя (СТС) бóльшая часть РЗЭ поступает из атмосферы. Преимущественное поступление РЗЭ с пылевыми фракциями ВВ ограничивает их миграционную способность в основном поверхностью почв и сезонно-талыми грунтами культурного слоя до глубины около 2 м.

Глубина, м	Y, мг/кг	Глубина, м	Y, мг/кг
1	**26**	6	24
2	**25**	7	23
3	24	8	24
4	24	9	21
5	21	10	20

Все РЗЭ, по растворенным формам миграции химических элементов, относятся к 8-электронным элементам-комплексообразователям, которые характеризуются низкой степенью растворимости своих гидрооксидных соединений, но способны к образованию растворимых комплексных соединений с ведущими катионами воды [14]. Поэтому некоторая часть РЗЭ способна переходить в растворимые формы и проникать в более глубокие горизонты СТС, достигая надмерзлотных грунтовых вод. Сравнение концентрации РЗЭ в твердой фазе снежного покрова и в надмерзлотных водах, проведенное на ряде участков города, показало определенную взаимосвязь концентрации La и Ce во ВВ зимней атмосферы и подземных водах (рис. 3).



La Ce

Рис. 3. Концентрация La и Ce в атмосфере (ВВ) и надмерзлотных водах.

Способствуют подвижности РЗЭ в грунтах СТС и надмерзлотных водах и определенная открытость грунтов, окислительно-восстановительный потенциал которых в СТС равен в среднем 419 мВ.

Наблюдаемая зависимость между концентрацией La и Ce в ВВ зимней атмосфере и надмерзлотных водах аналогичная таковой для Th и U, поскольку РЗЭ являются химическими аналогами актинидов [15,16,17].

Заключение

В приземной атмосфере Якутска формируются техногенные геохимические аномалии макро- и микроэлементов, в том числе и группы редкоземельных элементов. РЗЭ формируют обширные малоконтрастные ореолы преимущественно в северной промышленной части города.

ВВ в приземной летней атмосфере полидисперсны и представляют собой совокупность твердых частиц разного размера. В летней атмосфере РЗЭ концентрируются преимущественное в пылевой фракции ВВ (PM_{10-100}), в комплексе с группой сидерофильных элементов. Зимние ВВ более дисперсны и в основном представлены фракцией PM_{10}.

Специфичными минеральными фазами ВВ коррелирующими с РЗЭ, осевшими на почвенный покров в зоне техногенного воздействия, являются: апатит и циркон, суммарная концентрация которых в тяжелой фракции летних ВВ равна 6%.

Концентрация РЗЭ равномерно понижается в системе: почвы - ВВ летние - ВВ зимние (снег). В почвах, летних и зимних ВВ преобладает группа легких РЗЭ.

Основная масса РЗЭ – около 99% выпадает из атмосферы в пылевой фазе в теплый период года. Ежесуточное поступление РЗЭ из атмосферы на территорию города в это время составляет в среднем 625 мкг/м^2·сут (отношение La/Y=1,8), с преобладанием в составе выпадений Ce, La и Nd.

На зимние твердые впадения ВВ (преимущественно фракция PM_{10}) приходится всего около 1% от общей массы поступления РЗЭ из атмосферы. Ежесуточное суммарное поступление РЗЭ из атмосферы в холодный период на два порядка ниже, чем летом - 6,93 мкг/м^2·сут (отношение La/Y=1,4). Максимальный объем атмосферных выпадений наблюдается для La и Ce - 1-2 мкг/м^2·сут

Общий объем атмосферного поступления РЗЭ на территорию города оценивается цифрой около 633 мкг/м^2·год. Основную массу выпадений слагают Ce, La, Nd и Y. На участках контрастных аномалий эта величина может возрастать в два-три раза, также за счет этой группы РЗЭ. Суммарное выпадение РЗЭ на территорию города составляет примерно $1{,}2 \cdot 10^{-2}$ % от годового объема поступления загрязняющих веществ из атмосферы.

Основными источниками поступления РЗЭ в приземную атмосферу Якутска являются пыление с поверхности почв и выбросы автотранспорта. В меньшей степени - выбросы объектов энергетики и стройиндустрии.

Список литературы

1. Urban airborne particulate matter: origin, chemistry, fate and health impacts (2011). Eds.: F. Zereini, C.L.S. Wiseman. Heidelberg: Springer–Verlag Berlin, 656 p.

2. ГН 2.1.6.3492-17 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений (с изменениями на 31 мая 2018 года).

3. Chronic toxicity of rare-earth elements on human beings: implications of blood biochemical indices in REE-high regions, South Jiangxi / H. Zhang, J. Feng, W. Zhu, C. Liu, S. Xu, P. Sao, D. Wu, W. Yang, J. Gu // Biol. Trace Elem. Res. 2000 Vol. 73 № 1 P. 1–17.

4. Захаров И. С., Контрош Л. В., Храмов А. В., Шумилов О. И. К вопросу об экологической опасности редкоземельных металлов. - Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» № 8/2018. С. 91-97.

5. Toxicity of cerium and thorium on Daphnia magna / Ma Yuhui, Wang Jingkun, Peng Can, Ding Yayun, He Xiao, Zhang Peng, Li Na, Lan Tu, Wang Dongqi, Zhang Zhaohui, Sun Fuhong, Liao Haiqing,

Zhang Zhiyong // Ecotoxicol Environ Saf. 2016 № 134 P. 226–232.

6. Григорьев А.А., Будыко М.И. (1959) Классификация климатов СССР. Изв. АН СССР. Сер. геогр. № 3, 3-19.

7. Государственный доклад об экологической ситуации в Республике Саха (Якутия) в 2019 г.: https://minpriroda.sakha.gov.ru (дата обращения: 15.02.2021).

8. Геология и полезные ископаемые России. Т. 3. Восточная Сибирь (2002). Спб.: ВСЕГЕИ, 396 с.

9. Макаров В.Н. (2016) Экогеохимия окружающей среды города, расположенного в криолитозоне (на примере Якутска). Региональная экология. № 4 (46), 7-21.

10. Подъячев, Б. П. (2009) Геохимические аномалии благородных металлов в осадочных отложениях Якутского поднятия. Система коренной источник-россыпь. Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 166-173.

11. Виноградов А. П. (1962) Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. Геохимия, № 7, 555–571.

12. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. Boca Raton, FL, USA: CRC Press/ & Francis Group Taylor. 2010. 548 p.

13. Павлова Н.А., Данзанова М.В. Межгодовая изменчивость химического состава техногенных криопэгов на территории города Якутска. - Криосфера Земли, 2018, т. XXII, № 6, с. 26–34.

14. Баренбойм Г. М., Авандеева О. П., Коркина Д. А. Редкоземельные элементы в водных объектах (экологические аспекты) // Вода: химия и экология. 2014 № 5 С. 42–55.

15. Brookins D. G. (1989) Aqueous geochemistry of the rare earth elements // Rev. Mineral. Geochem.21, 201–225

16. Chapman N. A., McKinley I. G., Franca E. P., Shea M. E. and Smellie J. A. T. (1992) The Pocos-de-Caldas project – an introduction and summary of its implications for radioactivewaste disposal // J. Geochem. Explor.45, 1–24.

17. Choppin G. R. (1995) Comparative solution chemistry of the 4f and 5f elements // J. Alloy. Compd. 223, 174–179.

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РИСКА ОПОЛЗНЕЙ В ТЕРРИТОРИЙ РК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ARCGIS

Кенжехан А.А.
Магистрант,
Рысбеков К.Б.
кандидат технических наук. профессор
Satbayev University, г.Алматы, Казахстан

GEODETIC ANALYSIS OF LANDSLIDE RISK IN KAZAKHSTAN USING ARCGIS

Kenzhekhan A.
Master's Student,
Rysbekov K.
Candidate of Technical Sciences, Professor
Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
DOI: 10.5281/zenodo.18195203

Аннотация

Горные территории Казахстана характеризуются активным проявлением опасных процессов, которые в районах с высокой плотностью населения формируют высокий риск человеческого и материального ущерба. Наиболее репрезентативным способом изучения локальных оползней является использование сочетания традиционного полевого метода и дистанционного зондирования и ГИС. Методика оценки оползневого риска основана на использовании мирового опыта исследований. Конечным результатом является таблица, объединяющая все рекомендации для каждого оползнеопасного участка.

Abstract

The mountainous regions in southeastern Kazakhstan are characterized by high landslide susceptibility. High populated areas in the low and foothill zones, where natural and anthropogenic conditions increase the occurrence of landslides, are particularly vulnerable to damage with human loss. The use of a combination of the traditional field-oriented method and the application of remote sensing and GIS to assist planning and management processes is considered as the most representative way to study local landslides. The final result is a table that consolidates all recommendations for each landslide-prone area.

Ключевые слова: оползни, оценка оползневого риска, чрезвычайная ситуация, полевые исследования, защитные мероприятия, ГИС.

Keywords: landslides, landslide risk assessment, emergency, field survey, protective measures, GIS.

Введение: Практика показывает, что снижение риска оползней наиболее эффективно при осуществлении на местном (отдельный склон, местность) или региональном уровне. В локальном масштабе разработка мер по снижению риска, например системы раннего оповещения, может основываться на ряде оптимальных сценариев и состоит из чётких шагов – начиная с оценки вероятности их возникновения, оценки объема и масштаба оползня, оценки потерь, сравнения оцененного риска с критериями принятия риска/толерантности к риску, реализации соответствующих мер по снижению риска при необходимости. На практике такого уровня строгости придерживаются при управлении риском оползней в развитых странах. Однако в развивающихся странах системы раннего предупреждения и меры по смягчению последствий минимальны. Во многих странах, где есть районы с высокой опасностью оползней, отсутствуют необходимые законы и правила для определения приоритетов и реализации плана по снижению риска оползней. Часто утверждается, что «нужна катастрофа, чтобы получить ответную политику», и тематические исследования управления рисками оползней в разных странах показывают связь между частотой бедствий и прогрессом и сдвигами в управлении рисками оползней. Бедствия могут катализировать моменты изменения целей, политики и практики управления рисками. Все чаще процессы принятия решений органами власти, отвечающими за снижение риска оползней и других опасностей, переходят от «экспертных» решений к включению общественности и других заинтересованных сторон. Горные регионы, обрамляющие юго-восток Казахстана, имеют территории с высокой оползневой уязвимостью. Густонаселенные районы в низкогорной и предгорной части, где природные и антропогенные условия способствуют возникновению опасности проявления оползней, являются более уязвимыми в плане материального и человеческого ущерба. Так же, как и во многих странах мира, где есть районы с высокой опасностью оползней, в Казахстане наблюдаются несовершенство законодательной базы, систем раннего предупреждения и мер по смягчению ущерба, а также застройка опасных территорий без соблюдения элементарных защитных стандартов. Это может приводить к фатальным последствиям.

Методология оценки оползневого риска с использованием ArcGIS

Методология оценки оползневого риска с применением геоинформационных технологий, и в частности платформы ArcGIS, представляет собой комплекс взаимосвязанных этапов, направленных на выявление, анализ, моделирование и прогнози-

рование склоновых процессов в пределах определённой территории. Использование ArcGIS позволяет интегрировать геодезические, геологические, климатические и пространственные данные в единую аналитическую среду, обеспечивая системный подход к изучению опасных природных процессов. Данная методология является универсальной и применяется в научных исследованиях, градостроительном планировании, инженерных изысканиях и природоохранных работах.

Первым этапом оценки оползневого риска является сбор и унификация разнообразных пространственных данных, являющихся основой для последующих вычислений. Для анализа склоновых процессов в Алматы необходимо учитывать комплекс факторов:

1. Цифровая модель рельефа (ЦМР)

ЦМР является ключевым элементом модели, так как формирует морфометрические параметры — уклон, экспозицию, форму поверхности, вертикальную расчленённость.

В качестве источников применяются:

- SRTM (30 м),
- ALOS PALSAR (12,5 м),
- LiDAR-съёмка (при наличии),
- локальные ЦМР, созданные с использованием GNSS и тахеометрии.

ЦМР проходит этап фильтрации, устранения пробелов и выравнивания для получения корректных моделей склонов.

2. Геологические и инженерно-геологические данные

Сюда включаются карты литологии, зон выветривания, мощности рыхлых отложений, линии разломов, зоны сейсмотектонической активности. Лессовые и делювиальные породы Алматы являются потенциально опасными, поэтому их выделение крайне важно.

3. Геодезические данные наблюдений

Используются результаты нивелирования, GNSS-наблюдений, данные InSAR, а также результаты инженерных мониторингов на отдельных объектах. Эти данные позволяют выявлять активные деформации.

4. Гидрологические и климатические данные

Включают:

- интенсивность осадков,
- уровень грунтовых вод,
- влажность грунтов,
- расстояние до рек и оврагов,
- глубину водоупоров.

В Алматы сильные осадки и снеготаяние – один из ключевых триггеров оползней.

5. Исторические карты оползней

Использование архивных данных позволяет выявить закономерности, определить наиболее опасные участки и провести калибровку модели.

6. Техногенные и инфраструктурные данные

Необходимо учитывать застройку, дороги, коммуникации, зоны выемок и насыпей, так как техногенное воздействие значительно увеличивает вероятность оползней в городской среде.

Все данные приводятся к единой системе координат, одинаковому разрешению и выравниваются для последующей обработки.

Наибольшая активность оползней в Республике Казахстан наблюдается в следующих регионах (Рис.1):

Алматинская область – горные районы Заилийского Алатау;

Жамбылская область – предгорные и горные зоны;

Туркестанская область – особенно в предгорьях Таласского Алатау.

Рисунок 1. Пространственное распределение уровней оползневого риска по регионам Республики Казахстан

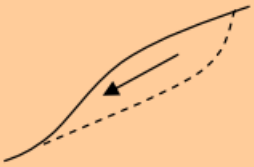
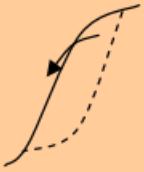
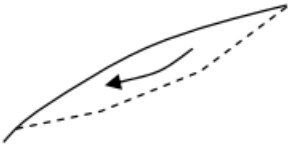
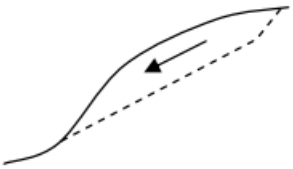
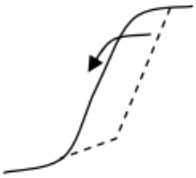
Виды бедствий на склонах

Для проведения эффективных мер в отношении неустойчивых склонов необходимо прояснить механизм формирования их неустойчивости. В этой связи была предпринята классификация бедствий на склонах, на основании 2 рубрик – угла

наклона и геологического строения склона. При этом основное внимание было обращено на механизм формирования неустойчивости (Табл. 1 Классификация видов бедствий на склонах)

Таблица 1.

Классификация видов бедствий на склонах)

Уклон / Порода	Небольшой (1)	Средний (2)	Большой (3)
Грунт (S)	Оползень (S1)	Обрушение грунта (S2) 	Обвал грунта (S3) 
Скальная порода (R)	Сползание скальной породы (R1) 	Обрушение скальной породы (R2) 	Обвал скальной породы (R3) 

В районе Алматы сравнительно мало выходов скальной породы на поверхность, и широко распространены илистые грунты, имеющие довольно низкую вязкость. Поэтому на склонах чаще всего возникают такие бедствия, как обрушение грунта (S2) и обвал грунта (S3). Распределение видов бедствий, возникающих на склонах, показано на Рис.5.6.3 (Карта распределения видов бедствий, возникающих на склонах).

2) Объекты охраны

Для вынесения оценки о степени опасности бедствия необходимо, прежде всего, уяснить целевые объекты охраны. Такими объектами были заданы реки, жилые дома и дороги.

3) Предрасполагающие топографические факторы

В качестве предрасполагающих топографических факторов было взято топографическое и геологическое зонирование (см. предыдущий пункт), а также показатели уклона.

4) Предрасполагающие геологические факторы

С учетом отчетов ранее предыдущих исследований, в качестве предрасполагающего геологического фактора рассматривалась геологическая структура склонов. С точки зрения геологии, подверженные бедствиям склоны относятся к типам «deg Q III-IV» (поверхностные слои горной зоны, сложенные осыпными осадочными отложениями) и «fQ I» (илистые осадочные отложения верхнечетвертичного периода в зоне предгорий). В частности, при достижении влагонасыщения прочность обладающих низкой вязкостью илистых отложений предгорий (fQ I), снижается, что становится фактором перехода склона в неустойчивое состояние.

5) Масштабы

Были зарегистрированы высота, длина и ширина неустойчивых склонов, а также толщина неустойчивых массивов грунта. На основании этих данных был рассчитан вес предполагаемых массивов неустойчивого грунта. Размеры неустойчивого склона прямо связаны с масштабом бедствия и являются поэтому важным элементом оценки.

6) Инициирующие

Инициирующие факторы были подразделены на природные и антропогенные, и было зарегистрировано содержание каждой группы факторов. Природными инициирующими факторами являются, в основном, следующие: крутизна склонов; слабость грунтов; подземные воды; поверхностные воды. В районе Алматы, в частности, во многих случаях инициирующим фактором является речная эрозия. Антропогенные факторы отличаются разнообразием и включают протечки водопроводов, ненадлежащую выемку грунта, строительство обладающих недостаточным уплотнением земляных насыпей, и т.д. Причинами антропогенных факторов являются недостаточное понимание субъектами, ведущими застройку и хозяйственное освоением территории, рисков бедствий на склонах, а также изъяны в функционировании системы административного руководства реализацией проектов. Необходимо срочное принятие соответствующих коррекционных мер.

Оценка рисков бедствий на склонах

Для количественной оценки устойчивости склонов при землетрясении необходимо выполнить подробную топографическую съемку, вести наблюдение за уровнем подземных вод, рассчитать геологические константы (адгезионную способность, угол внутреннего трения, плотность), затем рассчитать устойчивость и т.д. Хотя подробные данные для расчета устойчивости склонов собраны не были, исходя из соображения об отсутствии больших относительных различий между рисками при землетрясении и рисками в нынешних условиях, была произведена оценка рисков на настоящий момент. Целью при этом ставилось определиться с

дальнейшими контрмерами. Была выполнена оценка риска по каждому из следующих 3 факторов: предполагаемому масштабу бедствия; предполагаемой частоте возникновения бедствия; объектам охраны. На основе этих частных оценок была выведена комплексная оценка. Критерии оценки риска по каждому фактору и критерии комплексной оценки указаны в Табл. 2.- 5

Таблица 2.

Критерии оценки масштаба предполагаемого бедствия

Оценка	Предполагаемый масштаб бедствия
A	10 000 м^3 и более
B	1 000 м^3～10 000 м^3
C	менее 1 000 м^3

Таблица 3

Критерии оценки частоты возникновения бедствия

Оценка	Частота возникновения бедствия (историческая)
a	Часто возникало в прошлом. Или же, случалось совсем недавно.
b	Случалось в прошлом.
c	Сведений о возникновении в прошлом не имеется.

Таблица 4

Критерии оценки объектов охраны

Оценка	Объекты охраны
1	Участки, на которых имеются коммунальные объекты, важные объекты инженерно-коммунальной инфраструктуры; участки, на которых имеется много жилых домов
2	Участки, через которые проходят дороги; участки, на которых стоят несколько жилых домов
3	Реки, горные леса и т.д.; территории, на которых жилых домов мало, или где жилые дома отсутствуют

Таблица 5

Матрица комплексной оценки

	A			B			C		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1	Выс	Выс	Выс	Выс	Ср	Ср	Выс	Ср	Низ
2	Выс	Выс	Ср	Ср	Ср	Низ	Ср	Низ	Низ
3	Выс	Ср	Ср	Ср	Низ	Низ	Низ	Низ	Низ

Как видно из табл. 5, практически все аварийные склоны, оценка риска возникновения бедствия на которых высокая, приходили в неустойчивое состояние под воздействием антропогенных факторов. Поэтому для того, чтобы деятельность по освоению и застройке склонов не приводила к бедствиям, в дальнейшем наряду с реализацией мер по приведению склонов в устойчивое состояние следует добиваться более глубокого понимания субъектами застройки и хозяйственного освоения склонов существующих здесь рисков, а также добиваться надлежащего функционирования системы контроля за реализацией проектов.

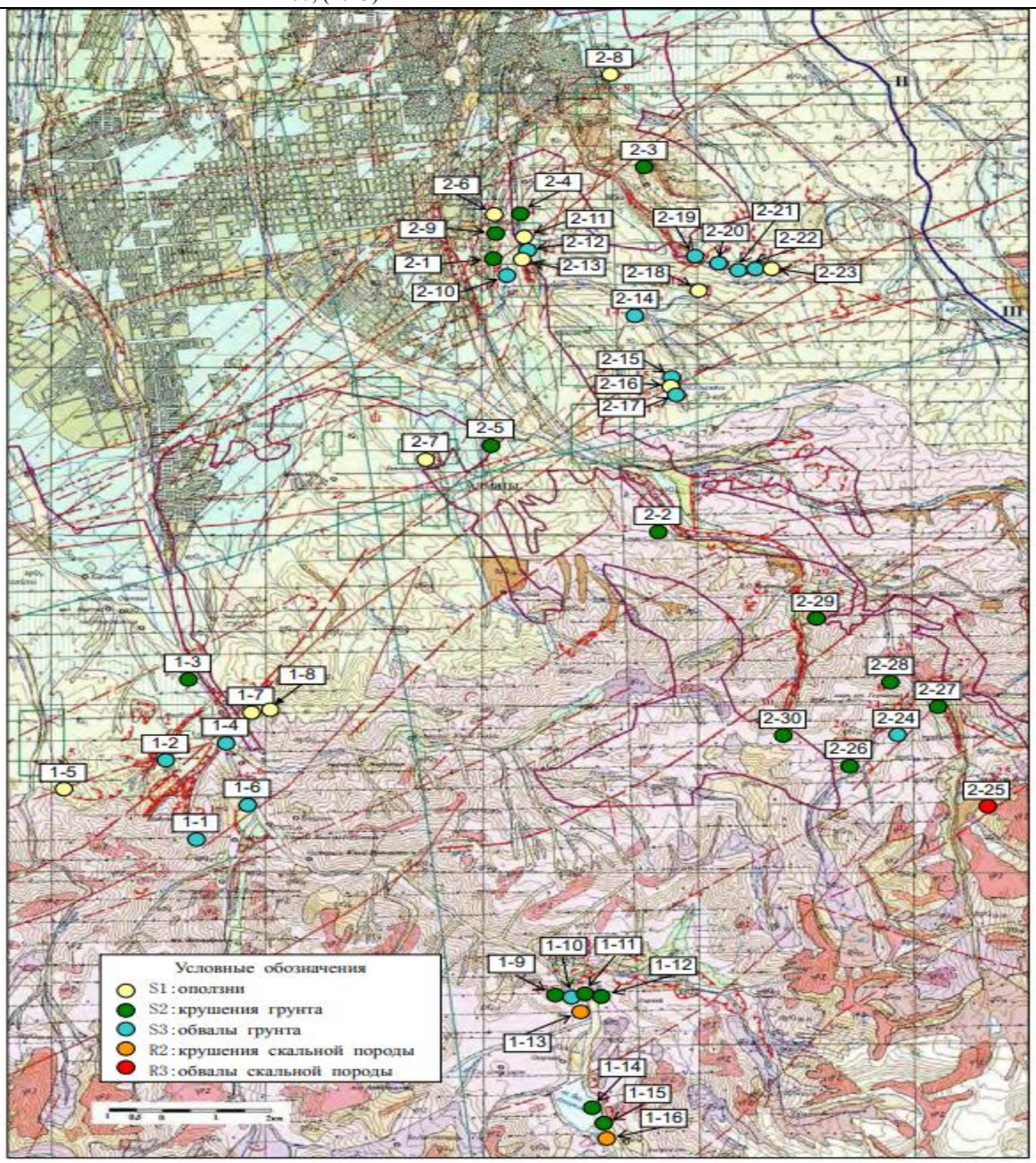


Рисунок 2. Карта распределения бедствий на склонах, с разбивкой по видам бедствий

Таблица 6.

Обзорная таблица (результаты исследования существующих материалов по оценке склонов; Бассейн р. Большая Алматинка

№	a) Виды бедствий на склонах		b) Объект охраны	c)Топографические факторы		d) Геологические факторы	e) Масштаб					f) Инициирующие факторы			Вынесение заключения о риске			
				Рельеф	Уклон (°)		Высота (м)	Длина (м)	Ширина (м)	Толщина слоя (м)	Размер массива грунта (м3)	Природн.	Антропоген.	Содержание	Масштаб склона	Частота возникновения	Объект охраны	Оценка риска
1-1	S3	Обвал грунта	Река	Горный район	60	degQ III-IV	300	-	400	10	1 000 000	O	-	Речная эрозия	A	a	3	Выс.
1-2	S3	Обвал грунта	Река	Район предгорий	60	fQ I	18-25	-	80	3	6 000	O	-	Речная эрозия	B	a	3	Средн.
1-3	S2	Обвал грунта	Река	Район предгорий	20-30	fQ I	-	30	12	5-8	1 000	-	O	Протечка из водопровода	B	a	3	Средн.
1-4	S3	Обвал грунта	Река	Район предгорий	60	fQ I	-	100	50	0,5	2 500	O	-	Речная эрозия	B	a	3	Средн.
1-5	S1	Оползень	Жилые дома	Район предгорий	25-30	fQ I	-	70-80	20-40	4-5	16 000 (1 500)	-	O	Протечка из водопровода	A	c	1	Выс.
1-6	S3	Обвал грунта	Река	Горный район	60-80	degQ III-IV	25-30	-	300	0,5	4 500	O		Речная эрозия, создание земляной насыпи	B	a	3	Средн.
1-7	S1	Оползень	Жилые дома	Район предгорий	35	fQ I	100	200	250	5	250 000 (100 000)	O		Выемка грунта на участке	A	b	1	Выс.
1-8	S1	Оползень	Жилые дома	Район предгорий	35	fQ I	200	450	400	5	900 000 (500 000)	O		Выемка грунта на участке	A	b	1	Выс.
1-9	S2	Обвал грунта	Дорога	Горный район	60	degQ III-IV	20	100	30	0,5	1 500 (1-5)	O		Выемка грунта под дорогу	B	b	2	Средн.
1-10	S3	Обвал грунта	Дорога, река	Горный район	60-70	degQ III-IV	50	70	50	0,5	1 750	O	-	Речная эрозия	B	a	2	Средн.
1-11	S2	Обвал грунта	Дорога	Горный район	60	degQ III-IV	20	50	30	0,5	750 (100)	O	-		C	b	2	Низкий
1-12	S2	Обвал грунта	Дорога	Горный район	60-70	degQ III-IV	20	50	30	0,5	750 (100)	O	-		C	b	2	Низкий
1-13	R2	Крушение скальной породы	Река	Горный район	60-70	degQ III-IV	250	250	100	0,5-1	25 000 (100-200)	O	-		B	b	3	Низкий
1-14	S2	Обвал грунта	Дорога	Горный район	60	degQ III-IV	10	50	15	0,3	225 (100)	O		Выемка грунта под дорогу	C	b	2	Низкий
1-15	S2	Обвал грунта	Дорога	Горный район	60	degQ III-IV	10	50	15	0,3	225 (1-5)	O		Выемка грунта под дорогу	C	b	2	Низкий
1-16	R2	Крушение скальной породы	Дорога	Горный район	60-70	degQ III-IV	30	50	15	0,3	225 (500)	O		Выемка грунта под дорогу	B	b	2	Средн.

Бассейн р. Малая Алматинка

№	a) Виды бедствий на склонах		b) Объект охраны	c)Топографические факторы		d) Геологические факторы	e) Масштаб					f) Инициирующие факторы			Вынесение заключения о риске			
				Рельеф	Уклон (°)		Высота (м)	Длина (м)	Ширина (м)	Толщина слоя (м)	Размер массива грунта (м3)	Природн.	Антропоген.	Содержание	Масштаб склона	Частота возникновения	Объект охраны	Оценка риска
2-1	S2	Обвал грунта	Жилые дома, дорога	Район предгорий	35-40	fQ I	-	200	100	5	100 000	○	-		A	b	1	Выс.
2-2	S2	Обвал грунта	Река	Горный район	30-40	degQ III-IV	-	150	40	2-3	20 000	○		Речная эрозия	A	b	3	Средн.
2-3	S2	Обвал грунта	Дорога	Район предгорий	40-45	fQ I	18-20	-	30	2-3	1 000	○	-		B	b	2	Выс.
2-4	S2	Обвал грунта	Жилые дома	Район предгорий	25-30	fQ I	30	-	5-7	1-2	1 000	-	○	Протечка из водопровода	B	a	1	Выс.
2-5	S2	Обвал грунта	Жилые дома	Район предгорий	25-30	fQ I	-	40	10-12	4-6	1 200	-	○	Протечка из водопровода	B	a	1	Выс.
2-6	S1	Оползень	Дорога, жилые дома	Район предгорий	-	Земляная насыпь	-	60	30	-	1 500	-	○	Недостаточное уплотнение земляной насыпи	B	a	1	Выс.
2-7	S1	Оползень	Дорога, жилые дома	Район предгорий	-	Земляная насыпь	-	80	60	-	10 000	-	○	Недостаточное уплотнение земляной насыпи	A	a	1	Выс.
2-8	S1	Оползень	Жилые дома	Район предгорий	25-30	fQ I	-	60	30	3-5	3 000				B	a	1	Выс.
2-9	S2	Обвал грунта	Жилые дома	Район предгорий	25-35	fQ I	-	50	10-12	2-3	1 000	-	○	Протечка из водопровода	B	a	1	Выс.
2-10	S3	Обвал грунта	Дорога	Район предгорий	60	fQ I	-	10	20	0,3	10	○	-		C	b	2	Низкий
2-11	S1	Оползень	Дорога	Район предгорий	60	fQ I	10	-	30	0,5	10	○	-	Речная эрозия	C	b	2	Низкий
2-12	S3	Обвал грунта	Дорога	Район предгорий	60	fQ I	-	10	30	0,5	10	○		Выемка грунта под дорогу	C	b	2	Низкий
2-13	S1	Оползень	Река	Район предгорий	60	fQ I	-	20	10	0,5	200	○	-	Речная эрозия	C	b	3	Низкий
2-14	S3	Обвал грунта	Река	Район предгорий	60	fQ I	100	30	200	5	50 000				A	b	3	Средн.
2-15	S3	Обвал грунта	Река	Район предгорий	60	fQ I	10	30	20	0,5	100	○	-		C	b	3	Низкий
2-16	S1	Оползень	Река	Район предгорий	40	fQ I	200	500	700	10	1 000 000				A	b	3	Средн.
2-17	S3	Обвал грунта	Река	Район предгорий	60	fQ I	30	70	30	1	1 000				B	b	3	Низкий
2-18	S1	Оползень	Река	Район предгорий	60	fQ I	-	200	150	5	150 000	-			A	b	3	Средн.
2-19	S3	Обвал грунта	Дорога	Район предгорий	60	fQ I	-	400	150	5	300 000	-	○	Протечка из водопровода	A	c	2	Средн.
2-20	S3	Обвал грунта	Дорога	Район предгорий	60	fQ I	-	10	30	0,5	10	○		Выемка грунта под дорогу	C	c	2	Низкий
2-21	S3	Обвал грунта	Дорога	Район предгорий	60	fQ I	-	15	50	0,5	10	○		Выемка грунта под дорогу	C	c	2	Низкий
2-22	S3	Обвал грунта	Дорога	Район предгорий	60	fQ I	-	50	30	2	1 000	○		Выемка грунта под дорогу	B	c	2	Низкий
2-23	S1	Оползень	Дорога	Район предгорий	60	fQ I	50	200	50	2	10 000	○		Выемка грунта под дорогу	A	c	2	Средн.
2-24	S3	Обвал грунта	Река	Горный район	60-70	degQ III-IV	20	30	300	0,5-1,5	1 000	○	-	Речная эрозия	B	a	3	Средн.
2-25	R3	Крушение скальной породы	Дорога	Горный район	60-70	degQ III-IV	10	15	30	0,5	20	○	-		C	b	2	Низкий
2-26	S2	Обвал грунта	Река	Горный район	35	degQ III-IV	150	200	10	0,5	500	○	-		C	a	3	Средн.
2-27	S2	Обвал грунта	Дорога	Горный район	35	degQ III-IV	-	150	10	0,5	500	○	-		C	c	2	Низкий
2-28	S2	Обвал грунта	Дорога	Горный район	40	degQ III-IV	-	30	10	0,3	100	○	-		C	b	2	Низкий
2-29	S2	Обвал грунта	Дорога	Горный район	30	degQ III-IV	20	30	2-5	1-1,5	80	○	-		C	b	2	Низкий
2-30	S2	Обвал грунта	Река	Горный район	35-40	degQ III-IV	-	-	-	1-1,5	-	○	-		C	a	3	Низкий

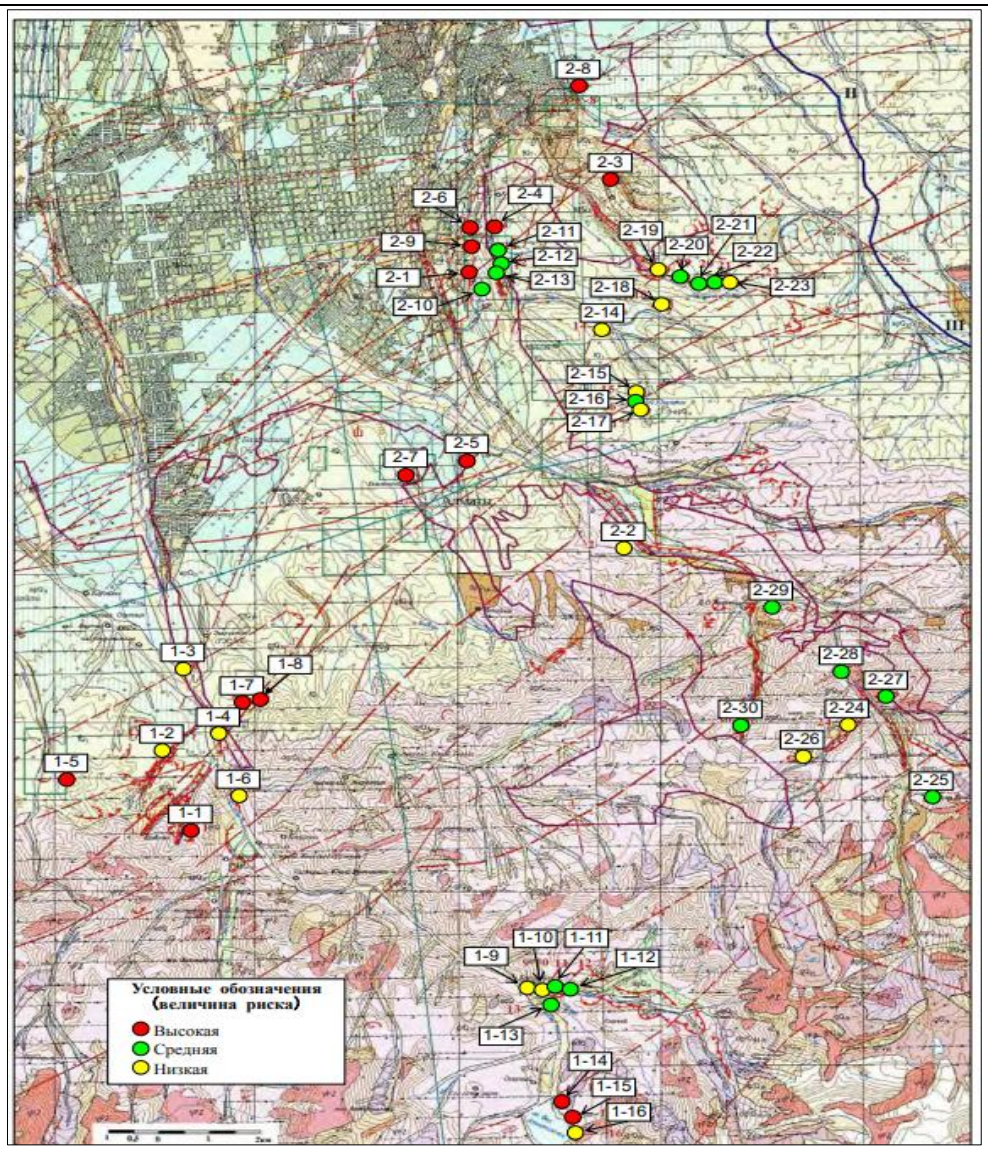


Рисунок 3. Результаты оценки риска на аварийных склонах

Выводы

Большинство задокументированных оползней в Казахстане произошли в густонаселенных районах с хорошо развитой инфраструктурой и были тяжелыми или катастрофическими по масштабу. Из-за пересеченной местности и удаленности многих регионов записи об оползнях отсутствуют для 80% территории страны. Хотя полевые исследования всё ещё актуальны для локальных исследований в крупных горных и предгорных районах для конкретизации защитных мер, они остаются достаточно дорогостоящими.

В дальнейшем планируется более широкое применение методов дистанционного зондирования и методов ГИС-анализа, машинного обучения, нейронных сетей, использующих глобальные наборы данных с открытым доступом и сопутствующие метаданные для прогнозирования опасностей. Платформа ГИС позволяет манипулировать наборами данных, которые формируют первоначальную оценку региона и сужают полевое исследование до конкретных областей интереса только в случае крайней необходимости, экономя затраты.

Важно, чтобы меры по предотвращению опасности осуществлялись в тесном сотрудничестве научных учреждений, государственных органов и местных жителей.

Список литературы

1. Words into Action Guidelines: National Disaster Risk Assessment Hazard Specific Risk Assessment. 3. Landslide Hazard and Risk Assessment. UNISDR, 2017. https://www.unisdr.org/files/52828_03landslidehazardandriskassessment.pdf

2. Capobianco, V., Choi, C. E., Crosta, G. et al. Effective landslide risk management in era of climate change, demographic change, and evolving societal priorities. Landslides (2025). https://doi.org/10.1007/s10346-024-02418-2

3. Norwegian Geotechnical Institute (2012). SafeLand project. R&D program Safeland. Abstract available from www.ngi.no/eng/Projects/SafeLand

4. Scolobig A., Thompson M., Linnerooth-Bayer J. Compromise not consensus: designing a participatory process for landslide risk mitigation // Natural Hazards. – 2016. – Vol. 81, supplement 1. – P. 45-68.

5. Aldabergen U., Blagoveshchensky V., Ranova S., Kamalbekova A. Application of unmanned aerial vehicles to obtain morphometric characteristics of landslides // RT&A. Special Issue No 5(75). – Vol. 18. – 2023. – P. 656-662.

6. Airbus WorldDEM4Ortho in ArcGIS Living Atlas of the World. Доступно на сайте: https://www.esri.com/arcgisblog/products/arcgis-living-atlas/imagery/airbus-worlddem4ortho-in-arcgis-living-atlas-of-the-world/ (Accessed: 3 February 2025).

7. Силачева Н. В., Кульбаева У. К., Кравченко Н. А. Вероятностная оценка сейсмической опасности Казахстана и г. Алматы по пиковым ускорениям грунта // Геодезия и геодинамика. – 2018. – Т. 9, вып. 2. – С. 131-141. https://doi.org/10.1016/j.geog.2017.11.002

8. Ахметов А. Ж., Жакулина А. А., Елиусизов Р. Н. Особенности структурно-неустойчивых грунтов южного региона Казахстана // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XX Международного симпозиума. – Томск, 2016. – С. 517-518.

9. Справочник по климату Казахстана: Многолетние данные. Раздел 1-2. Вып. 13. – Алматы: РГП «Казгидромет», 2004. – С. 295

АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Кенжегулова А.Е.
магистрант
Байгурин Ж.Д.
доктор технических наук., профессор
Satbayev University, г. Алматы, Республика Казахстан

ANALYSIS AND MODELING OF NATURAL PROCESSES OF AGRICULTURAL LANDS USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES

Kenzhegulova A.
Master's student
Baigurin Zh.
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
DOI: 10.5281/zenodo.18195215

Аннотация

В статье рассматриваются методы сбора, обработки и анализа пространственных данных с применением технологий ИИ и ГИС, а также их роль в прогнозировании урожайности, мониторинге состояния почв и оптимизации использования ресурсов (воды, удобрений, энергии). Особое внимание уделяется автоматизации процесса цифровизации сельскохозяйственных карт и построению цифровых моделей рельефа, способствующих более точному управлению агроландшафтами. Результаты исследования подчеркивают, что внедрение ИИ и ГИС в агросектор открывает новые возможности для устойчивого развития сельского хозяйства, повышения производительности и рационального использования природных ресурсов.

Abstract

The article discusses methods of collecting, processing, and analyzing spatial data using AI and GIS technologies, as well as their role in yield forecasting, soil condition monitoring, and optimizing the use of resources (water, fertilizers, energy). Special attention is given to automating the process of digitizing agricultural maps and constructing digital elevation models that contribute to more precise management of agrolandscapes. The research results highlight that the integration of AI and GIS in the agricultural sector opens new opportunities for sustainable agricultural development, increasing productivity, and the rational use of natural resources.

Ключевые слова: сельское хозяйство, цифровизация, искусственный интеллект, мы ГИС, цифровая модель, моделирование природных процессов.

Keywords: agriculture, digitalization, artificial intelligence, GIS, digital model, modeling of natural processes.

1. Введение

В настоящее время сельское хозяйство во многих странах является одной из ключевых отраслей экономики. С ростом потребности в продовольствии и ограниченностью природных ресурсов задача повышения эффективности сельскохозяйственного производства становится особенно актуальной. Одним из приоритетных направлений современного агропромышленного комплекса является цифровизация и использование передовых технологий анализа природных процессов, происходящих на сельскохозяйственных землях.

Особое значение в этом процессе имеет интеграция ГИС и ИИ, которые позволяют автоматизировать процессы сбора, обработки и интерпретации пространственных данных. Применение ИИ способствует ускорению и повышению точности анализа данных, что, в свою очередь, обеспечивает более эффективное управление земельными и природными ресурсами, а также способствует устойчивому развитию агроландшафтов.

Степень изученности темы. В последние годы наблюдается активное развитие исследований, направленных на применение технологий ИИ и ГИС в сельском хозяйстве. Научные работы и практические разработки в этой области демонстрируют высокий интерес к вопросам моделирования рельефа, прогнозирования урожайности и оптимизации использования ресурсов на основе цифровых моделей и пространственного анализа [1].

Цель исследования заключается в изучении и обосновании возможностей применения технологий ГИС и ИИ для анализа и моделирования природных процессов сельскохозяйственных земель, а также в разработке методики построения цифровых моделей рельефа.

Для достижения поставленной цели решаются следующие **задачи**:

- исследовать существующие методы и технологии цифровизации сельскохозяйственных карт и пространственных данных;

- проанализировать возможности использования ИИ для автоматизации анализа природных процессов;
- разработать методику построения и анализа цифровой модели рельефа сельскохозяйственных земель на основе интеграции ГИС и ИИ;
- оценить практические перспективы применения предложенной методики для повышения эффективности сельскохозяйственного производства.

Объект исследования – сельскохозяйственные земли, представленные совокупностью геопространственных данных, характеризующих их природные и производственные особенности (тип почвы, влажность, продуктивность и др.).

Предмет исследования – процесс анализа и моделирования природных процессов на сельскохозяйственных территориях с использованием методов ИИ и ГИС.

2. Методы и материалы исследования

Исследование направлено на автоматизацию процессов анализа и моделирования природных процессов сельскохозяйственных земель с использованием технологий ИИ и ГИС. В основе методологии лежит интеграция алгоритмов машинного обучения, в частности нейронных сетей и методов компьютерного зрения, с инструментами пространственного анализа данных, реализованными в ГИС-средах.

Для реализации поставленных задач использовались следующие подходы:

- **Методы машинного обучения**, включающие сверточные нейронные сети (CNN) и алгоритмы глубокого обучения, применяемые для распознавания и классификации геопространственных объектов на спутниковых и аэрофотоснимках;
- **Инструменты ГИС,** обеспечивающие сбор, хранение, обработку и визуализацию пространственных данных, включая информацию о рельефе, почвенном составе, уровне влажности и других природных характеристиках сельскохозяйственных земель;
- **Алгоритмы компьютерного зрения**, использующиеся для автоматического распознавания и векторизации контуров полей, водных объектов, дорог и других элементов ландшафта;
- **Методы анализа цифровых моделей рельефа (ЦМР)**, позволяющие выявлять закономерности изменения природных процессов, связанных с эрозией почв, распределением влаги и особенностями микрорельефа.

3. Результаты и обсуждение

3.1. Применение QGIS и ИИ в цифровом анализе рельефа для сельского хозяйства

QGIS является одной из наиболее распространённых и функциональных свободных геоинформационных систем, активно применяемых в аграрной сфере для пространственного анализа, цифрового картографирования и моделирования рельефа. Программа поддерживает широкий спектр инструментов, позволяющих автоматически обрабатывать данные дистанционного зондирования, создавать цифровые модели рельефа (ЦМР), проводить анализ уклонов, экспозиции, водосборов и эрозионных процессов. Это делает QGIS важным компонентом цифровизации сельского хозяйства [2].

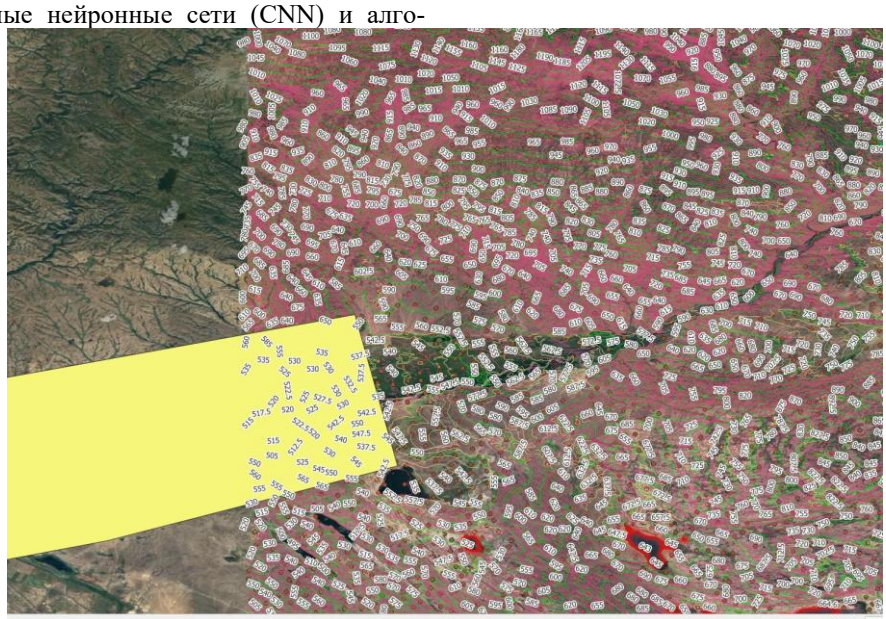


Рис.1. Пример картографирования сельскохозяйственных зон с использованием QGIS (авторская разработка)

3.2. Использование QGIS для построения цифровых моделей рельефа

QGIS позволяет работать с различными источниками данных рельефа: спутниковые DEM (SRTM, ASTER, Copernicus DSM); данные, полученные с беспилотников с помощью фотограмметрии; лазерное сканирование (LiDAR), данные топографических съёмок.

На основе этих данных создаются: карты уклонов, карты экспозиции склонов, модели стока

поверхностных вод, модели накопления влаги, карты эрозионной опасности.

Эти материалы особенно важны для: планирования орошения, размещения полей и лесополос, предотвращения деградации земель, оптимизации маршрутов техники, расчёта потенциальных зон засухи или переувлажнения.

2. Автоматизация анализа рельефа с помощью ИИ

Интеграция QGIS с инструментами ИИ (Python, TensorFlow, PyTorch, scikit-learn) расширяет возможности анализа рельефа и почвенно-климатических факторов. ИИ позволяет: автоматически классифицировать типы рельефа (возвышенности, понижения, балки, водосборы),

- выявлять зоны риска эрозии, оползней и переувлажнения,
- прогнозировать динамику водных потоков при различных сценариях осадков,
- моделировать влияние рельефа на урожайность [3].

3.3. QGIS для анализа рельефа в сельскохозяйственном производстве

В аграрной практике рельеф определяет множество ключевых факторов: скорость и направление стока воды; распределение влаги в почве; вероятность эрозии; особенности микроклимата; удобство механизированной обработки. QGIS позволяет создавать тематические карты, которые помогают агрономам и землепользователям: выбирать оптимальные зоны посева; снижать потери воды за счёт правильного проектирования каналов и ирригационных систем: корректировать нормы удобрений в зависимости от рельефа; определять участки, склонные к деградации, и проводить агроландшафтное планирование.

Преимущества использования QGIS в аграрной цифровизации: свободное и бесплатное программное обеспечение; интеграция с системами ИИ и Python; поддержка большого количества форматов данных и плагинов; широкий набор инструментов для анализа рельефа; возможность создания автоматизированных рабочих процессов (ModelBuilder, PyQGIS); высокая точность и оперативность обработки данных.

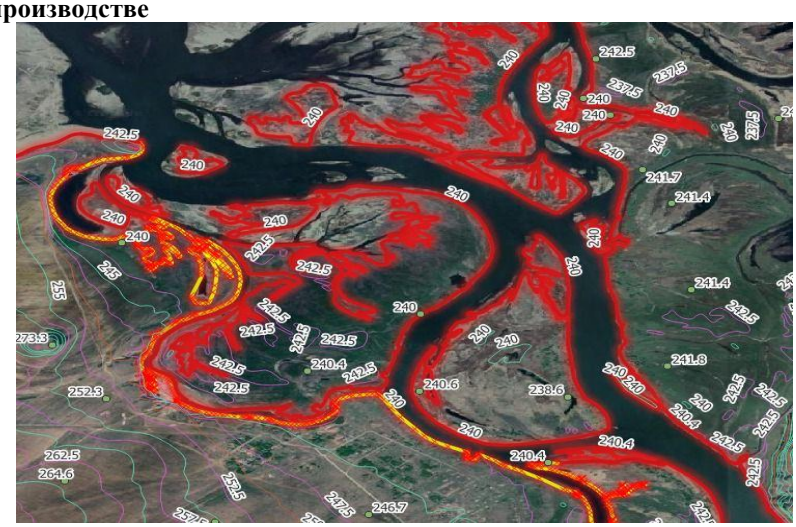


Рис.2. Автоматизированный анализ рельефа и влажности с помощью ИИ

Сельское хозяйство играет ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности и является одним из важнейших факторов экономического развития большинства стран. В современных условиях технологический прогресс становится неотъемлемой частью аграрного производства, определяя новые подходы к управлению природными и производственными процессами.

Применение автоматизации в сельском хозяйстве направлено на замену части физической активности человека и его участия в принятии решений интеллектуальными системами и специализированными машинами. Это позволяет повысить точность агротехнических операций, минимизировать человеческий фактор и увеличить общую эффективность агропроизводства.

Современные автоматизированные технологии включают широкий спектр систем с различной степенью участия ИИ – от полуавтоматических инструментов, таких как тракторы, оснащённые датчиками и беспилотными летательными аппаратами (дронами), до полностью автоматизированных процессов, в которых ИИ используется для сортировки, упаковки, прогнозирования урожайности и управления геоинформационными данными [4].

В рамках данного исследования применение технологий ИИ и ГИС позволило реализовать автоматизированную обработку и анализ сельскохозяйственных карт. Использование нейронных сетей обеспечило повышение точности векторизации границ полей и классификации элементов рельефа. На основе ЦМР выявлены закономерности распределения природных факторов – влажности почв, структуры землепользования и потенциальных зон эрозии.

4. Цифровое картографирование и модели рельефа

Цифровизация аграрных карт включает создание: ЦМР, карт плодородия, карт влажности и содержания элементов питания, карт деградации земель.

Геостатистические методы (кригинг, IDW) используются для получения непрерывных пространственных моделей, что позволяет выявить зоны риска, оценить потенциал урожайности и планировать мероприятия по восстановлению почв. ЦМР играют ключевую роль в определении направлений стока воды, оценке эрозионной опасности и проектировании систем орошения.

Кроме того, разработанная методика показала эффективность при моделировании пространственных изменений, связанных с естественными процессами, такими как водная эрозия, изменение структуры почвенного покрова и распределение влаги. Анализ пространственных данных, полученных с использованием, ГИС-инструментов, подтвердил, что интеграция ИИ в процессы обработки геоданных позволяет существенно ускорить расчёты и повысить их достоверность. Таким образом, автоматизация процессов анализа и моделирования природных процессов сельскохозяйственных земель с применением ИИ и ГИС является перспективным направлением цифровизации аграрного сектора. Она способствует повышению точности прогнозирования урожайности, рациональному использованию природных ресурсов и устойчивому развитию сельскохозяйственного производства.

5. Применение ИИ для цифровизации сельскохозяйственных карт

Одним из инструментов, способствующих повышению эффективности управления сельскохозяйственными угодьями, являются цифровые карты, предоставляющие полную информацию о почвах, рельефе и других характеристиках земельных участков. Однако процесс создания и обновления цифровых карт требует значительных ресурсов и времени. Внедрение технологий **ИИ** в процесс цифровизации сельскохозяйственных карт открывает новые перспективы и возможности для аграрного сектора.

Главное преимущество применения ИИ заключается в его способности быстро обрабатывать и анализировать большие массивы данных, что существенно превосходит возможности человека. Это позволяет более детально и точно исследовать земельные ресурсы, выявлять закономерности и тенденции, что, в свою очередь, обеспечивает более эффективное управление участками и повышение продуктивности [5].

Одним из практических примеров применения ИИ в цифровизации сельскохозяйственных карт является **автоматическое распознавание и классификация сельскохозяйственных культур на основе спутниковых снимков**. Системы машинного обучения обучаются на больших объемах данных о различных культурах и затем используются для автоматического определения типов растений на полях.

Рис.3. Автоматическое распознавание и классификация сельскохозяйственных культур на основе анализа спутниковых изображений [6]

Такой подход позволяет агрономам и фермерам получать более точную и детальную информацию о состоянии своих земель, что обеспечивает **принятие более обоснованных управленческих решений** и способствует оптимизации агротехнических мероприятий.

Автоматическое распознавание и классификация сельскохозяйственных культур на основе анализа спутниковых изображений является одним из наиболее эффективных применений **ИИ** в сельском хозяйстве. Эта технология позволяет агрономам и фермерам получать ценную информацию о состоянии своих полей, обеспечивая более обоснованное и точное принятие управленческих решений.

Процесс начинается со сбора **спутниковых изображений**, содержащих полную информацию о различных участках земли. Изображения могут охватывать широкий спектр данных, включая видимый, инфракрасный и тепловой диапазоны, что позволяет получать сведения о физических и биохимических свойствах растений.

Для обработки и анализа изображений применяются **методы машинного обучения.** Модели

обучаются на больших массивах данных о различных культурах, их характеристиках и типичных признаках. В качестве алгоритмов классификации могут использоваться свёрточные нейронные сети, деревья решений и другие методы машинного обучения.

После обучения модели способны **автоматически анализировать новые спутниковые изображения**, определять виды культур на полях, классифицировать их, оценивать состояние растений и даже прогнозировать урожайность.

Главные преимущества такой системы очевидны: она позволяет агрономам и фермерам получать **оперативную и точную информацию** о состоянии земель, выявлять проблемы на ранних стадиях (например, болезни растений, недостаток воды или питательных веществ) и своевременно принимать меры. Кроме того, использование ИИ способствует **оптимизации расхода ресурсов** (вода, удобрения, пестициды), повышению эффективности производства и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Ещё один пример применения ИИ в цифровизации сельскохозяйственных карт – анализ данных о **характеристиках почв и составе земли с использованием ГИС**. Алгоритмы машинного обучения способны обрабатывать данные о текстуре почвы, уровне её плодородия и других параметрах, что позволяет создавать более точные цифровые карты почвенных ресурсов.

ГИС обладают уникальной способностью **интегрировать, управлять и анализировать пространственно распределённые данные** и атрибуты. ГИС используется для ведения земельного и водного кадастра, учёта собственности, мониторинга окружающей среды и погодных условий, управления чрезвычайными ситуациями, оценки промышленных рисков, анализа факторов, влияющих на урожайность, и для многих других задач. Основное значение ГИС заключается в объединении электронных карт, баз данных и инструментов для их ведения и анализа.

Методы применения ИИ при цифровизации сельскохозяйственных карт:

1. **Обработка спутниковых изображений.**

- С использованием нейронных сетей автоматизируется определение сельскохозяйственных культур, оценка их состояния, выявление заболеваний или дефицита влаги на ранних стадиях.

2. **Цифровые карты почвенных ресурсов:**

- Алгоритмы нейронных сетей анализируют рельеф, плодородие и другие характеристики почвы, создавая детализированные цифровые карты.

- Это позволяет агрономам и фермерам эффективнее управлять земельными ресурсами.

3. **Прогнозирование урожайности:**

- Машинное обучение анализирует характеристики почвы, климатические условия, историю посевов и другие факторы для прогнозирования урожайности на разных участках.

- Фермеры могут на основе прогнозов оптимизировать выбор культур, внесение удобрений и орошение.

4. **Мониторинг роста растений:**

- Технологии компьютерного зрения и нейронные сети позволяют автоматизировать контроль за ростом растений.

- Выявляются болезни или дефицит питательных веществ, что даёт возможность своевременно принимать меры.

5. **Оптимизация использования ресурсов:**

- Анализ климатических и почвенных данных позволяет ИИ рационально использовать воду, удобрения и пестициды.

- Это снижает затраты и минимизирует негативное воздействие на окружающую среду.

6. **Адаптация к изменениям:**

- Быстрый анализ данных и генерация рекомендаций позволяют фермерам принимать обоснованные решения в кратчайшие сроки.

- Сельское хозяйство становится более устойчивым к изменениям условий и снижает потенциальные убытки.

Выводы. Применение ИИ в цифровизации сельскохозяйственных карт автоматизирует сбор и обработку данных**,** а также обеспечивает обоснованное принятие решений.

- Это способствует увеличению продуктивности, снижению затрат и устойчивому развитию сельского хозяйства.

- Внедрение инновационных решений требует сотрудничества сельхозпредприятий, разработчиков ПО, инженеров и специалистов по ИИ.

- Постоянное развитие технологий повышает эффективность производства и качество жизни сельских сообществ.

Таким образом, **использование ИИ для автоматизации цифровизации сельскохозяйственных карт** играет ключевую роль в современном устойчивом сельском хозяйстве, повышая его конкурентоспособность и адаптивность к изменяющимся условиям глобального рынка.

Список литературы

1. Sadenova, M., Beisekenov, N. & Varbanov, P.S. Assessing the effectiveness of RS, GIS, and AI data integration in analysing agriculture performance to enable sustainable land management. *Discov Sustain* 5, 478 (2024). https://doi.org/10.1007/s43621-024-00625-4

2. Тогузова, М., Асылханова, Ж., Окасова, А., & Мамышева, А. (2021). РАЗРАБОТКА ПОЧВЕННЫХ КАРТОГРАММ В ПРОГРАММЕ QGIS ДЛЯ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ. *Вестник ВКТУ*, (3). извлечено от https://vestnik.ektu.kz/index.php/vestnik/article/view/79

3. Unysheva, N. K., Makenova, S. K., Zhagiparova, T. T., & Tatarintsev, V. L. (2025). Assessment of soil erosion using GIS technology and the RUSLE model. *Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University: Multidisciplinary*, 2(125), 1–? https://doi.org/10.51452/kazatu.2025.2(125).1864

4. Ozsahin, E., Sarı, H., Erdem, D.B., Ozturk, M. (2024). Digital Soil Mapping (DSM) Using a GIS-

Based RF Machine Learning Model: The Case of Strandzha Mountains (Thrace Peninsula, Türkiye). *Revue Internationale de Géomatique*, *33(1)*, 341–361. https://doi.org/10.32604/rig.2024.054197

5. Sanogo, K., Birhanu, B.Z., Sanogo, S. *et al.* Landscape pattern analysis using GIS and remote sensing to diagnose soil erosion and nutrient availability in two agroecological zones of Southern Mali. *Agric & Food Secur* **12**, 4 (2023). https://doi.org/10.1186/s40066-023-00408-6

6. Crop Type Classification Using Satellite Solutions Holds The Key To Improve Crop Monitoring. — Текст: электронный // Tech Business News: [сайт]. — URL: https://www.techbusinessnews.com.au/news/crop-type-classification-using-satellite-solutions-holds-the-key-to-improve-crop-monitoring/ (дата обращения: 20.11.2025).

SECTION OF MATHEMATICS, PHYSICS, AND INFORMATICS

EXPLORING THE RELATIONSHIP BETWEEN GRAPHIC DESIGN AND PSYCHOLOGY

Quliyev S.
Azerbaijan State Academy of Arts
Graphic design major
Second year student of the Master's degree level
https://orcid.org/0009-0008-7275-0149
DOI: 10.5281/zenodo.18195236

Abstract
Every designer should learn the basics of psychology. As humans, we have a core "blueprint" for how we perceive and process the world around us, and studying psychology helps us define that blueprint. As designers, we can use psychology to create more intuitive, human-centered products and experiences. Instead of forcing users to adapt to the design of a product or experience, we can use some key principles from psychology as a guide for designing around human behavior.
Keywords: development, work, elements, color, association, ideas, emotions, form, visual graphics, design, psychology, perception.

Introduction:
The intersection of psychology and design is vast. There's an endless list of principles that occupy this space, but there are a few that I consider more universal than others. Let's explore what these principles are and where they are most effectively utilized by the products and experiences we interact with daily.

Cognitive load refers to the mental processing power used by our working memory. Our brains are like computer processors in that we have limited processing power: when the amount of information entering it exceeds the available space, cognitive load occurs. Our performance suffers, and tasks become more complex, leading to missed details and even frustration.

Contemporary graphic design closely interacts with the IT sector. Designers working in innovation and interface creation must consider design not only as a visual element but also as a part of psychology. The relationship between Gestalt psychology and the formation of perceptions of UX/UI design is explored. Gestalt psychology is a field that studies the structure of perception and the principles of organizing elements into coherent images. This article touches on the fundamental principles and concepts of design, as well as the study of human factors in solving interface visualization problems, drawing on international experience. Overall, the use of graphic design for interface usability analysis and research in the development of IT solutions in this area play a key role in creating products and services that are not only visually appealing but also intuitive for the end user. These aspects directly impact end user satisfaction, engagement, and, ultimately, the success and profitability of IT projects. Modern consumers expect high-quality user interfaces, and graphic design based on usability principles can deliver on this promise. Furthermore, integrating IT solutions in this area enables rapid adaptation to user needs and process optimization at all stages of development.

Aim:
Significance:
Psychology and design are closely intertwined. Design psychology is a combination of neuroscience, cognitive and social psychology, and human interaction with digital products, approaching user experience design through the lens of human behavior.

Knowledge and understanding of how people interact, what influences their behavior, and the various ways to nudge them toward decision-making enables designers to create effective and compelling products.

By developing an understanding of user experience (UX/UI) and user-friendliness, we effectively provide internet users with user-friendly and concise app and website designs. Thoughtful interface interactions not only increase loyalty but also reduce support and training costs, reducing errors and misunderstandings among end users. IT technologies are rapidly evolving, providing designers with ever-increasing tools and opportunities. An approach that combines psychology and design enables the creation of products and services that not only satisfy users' basic needs but also make the user experience comfortable and adaptive.

Theoretical Framework:
When it comes to design, everything comes down to a matter of choice. Every color, shape, line, font, text, and graphic ultimately form a message that must be conveyed to the user. However, mastering design has more to do with studying the psychology of user perception and behavior than with mastering extraordinary creative abilities. When applied to design, psychological principles and laws of perception help create intuitive, eye-pleasing interfaces.

Literature Review:
From a psychological perspective, a designer is an artist-constructor. Someone who relies on associative and project-based (creative) thinking as a way to generate ideas, a kind of insight-a flash of insight. But this is only the beginning; the intellectual component comes into play next, the essence of which lies in analyzing and structuring information [2;6].

At the same time, analysis should largely rely on empathy and reflection-the ability to imagine oneself in the shoes of the people for whom the product is being created, the ability to observe and understand one's own inner world [3;5].

The brains of creative people have long been of interest to doctors, psychologists, and sociologists. Numerous studies have shown that people who express themselves through scientific and artistic pursuits are more receptive to environmental stimuli. They have a lower unconscious ability to ignore unimportant stimuli. Thus, they receive more information from the outside world, and their emotional response is stronger. At the same time, a nervous system with such characteristics is more prone to overload and trauma [1;4].

This explains the link between creativity and mood disorders, which scientists have identified in different countries and at different times. These disorders most often include depressive experiences, anxiety and bipolar disorders, and addictions [2;7].

Creativity is stimulated by periods when a person feels more confident in themselves and their creativity. Stress, on the other hand, kills creativity and hinders spontaneous creativity. Immediately after a stressful reaction, the body's resources are redistributed to maintaining alertness and then recovery. Creative cognition, as a function not essential for survival, will be put on the back burner until the body and mind return to normal. Maslow's well-known hierarchy of needs is built on this same principle [3;5].

Research shows that stress doesn't necessarily negatively impact creativity. It does so when a person lacks a sense of control over the situation and believes that no action can influence the outcome. Another significant factor that reduces creative productivity is the threat of evaluation. When there is no threat of evaluation, creative productivity, on the contrary, increases. A person feels more free, doesn't limit themselves, and doesn't fantasize about what limitations others might impose on their work. Insight and new ideas usually come through two sequential stages. The first is prolonged study and reflection on a task/concept/question. The second is a state of relaxation and calm, when there is no information or stress load [6;8].

Findings and Discussion:

8 Psychological Principles to Know When Creating a Design Concept

1. Mental Models. Mental models are constantly discussed by developers and UX designers. The process of creating something new—a website template or a new app-requires an understanding of how users behave and what they find intuitive. Mental modeling is the process of understanding how people experience the world and replicating these models when creating something virtual. The idea is to describe in detail the user's intuitive behavior. For example, consider files and folders on a computer. They are analogous to the oldest storage system on physical media, making them easy for anyone to understand.

2. The Restorff Effect. The isolation effect, also known as the isolation effect, is a human memory phenomenon whereby an object that stands out from a group of similar objects is remembered better than others. When designing, it's sometimes necessary to draw the user's attention to a single point, even when surrounded by other elements. This is achieved by using a different font, color, size, and other design tools.

3. Gestalt Principles. Gestalt psychology studies the visual perception of objects in relation to one another. Gestalt principles, or Gestalt laws, describe how design elements grouped together are perceived by the human eye.

The principle of proximity: objects placed close to each other are perceived as a single, logical group. Although the letter U in the Unilever logo is composed of different shapes, the human eye primarily recognizes the integral shape of the letter U.

The principle of similarity: similar objects are perceived as a single whole or as part of a single group. In the NBC logo, similar cones are perceived as a single group because they have the same outlines.

The principle of closure: a form is perceived as a whole, even if not all lines are closed. In the logo below, the shapes and empty space are formed by the silhouettes of girls, while only some elements of the image have a completely closed form.

The principle of continuity: visual perception naturally moves from one object to another. The Olympic Games logo is an example of a visual in which the elements are a continuation of one another.

Figure and ground: When the eye perceives an object as an object, it separates it from the surrounding space (the background). In the logo dedicated to Steve Jobs, depending on where the eye focuses, either an apple or the silhouette of Steve Jobs is perceived.

4. Visceral Reactions. Everyone has a favorite website, photo, or other visual object that they can't tear their eyes away from. But not everyone can say why. It all comes down to visceral reactions-psychological mechanisms that originate deep in the subconscious. Design based on visceral reactions aims to evoke a positive aesthetic impression. And this simply requires knowing what evokes visual pleasure and what doesn't.

Airbnb used visceral design to convey the beauty and exoticism of different countries. While most of its accommodations don't have beach views or luxury apartments, Airbnb uses this design to inspire and encourage travel around the world. Visceral design often boils down to simply using beautiful photos and colorful imagery to emotionally engage the audience.

5. Color Psychology. People tend to associate colors with feelings and moods, and designers have conducted extensive research on this topic. A quick summary: blue: safe, calm, honest, trustworthy, strong, caring Corporations often use this color to instill a sense of reliability and confidence in their brand. Facebook's color scheme reassures users that it is a trusted and authoritative social network, which instills a sense of security, even when sharing personal information.

Red: energy, love, action, activity, passion. Coca-Cola is a classic example of a company using red to convey its brand spirit. And they've succeeded: Coca-Cola is consistently associated with energy and emotional uplift.

Orange: happy, outgoing, friendly, approachable. A favorite color of marketing resource Hubspot. Yellow: logical, optimistic, forward-thinking, confident, playful.

Bzzy, an app that automatically sends messages when you're busy, uses yellow to showcase its tech-savvy style and evokes playfulness.

Green: growth, organic, natural, caring, fresh, earthy. Companies like Whole Foods, wanting to emphasize their connection to nature and organics, had no choice but to use green in their color scheme. Green evokes associations with naturalness, which Whole Foods strives to tie into their brand.

Black: sophistication, luxury, seductive, formal, authoritative. Supercars, a luxury car rental and chauffeur service, uses a black and white design to communicate its luxury and exclusive brand. Multicolor: multichannel, positive, playful, bold, limitless. Google is the most famous example of using multiple colors in a logo, and it fully evokes the aforementioned associations with multicolor.

6. The Psychology of Shapes. Just like with colors, people associate different shapes with certain emotions and qualities. Much research has been conducted on this topic as well. Circles, ovals, and ellipses evoke positive emotions associated with community, friendship, connections, relationships, unity, and femininity.

Rectangles and triangles: stability, balance, strength, professionalism, efficiency, masculinity. Microsoft and Delta use squares and triangles in their logos, which evoke feelings of stability and efficiency-positive feelings associated with the brand.

Vertical lines: masculinity, strength, aggression. In the SoundCloud logo, the cloud outline evokes emotions associated with dreaming and creativity, while vertical lines evoke more aggressive feelings. This combination of straight lines and cloud shapes expresses the dual spirit of the brand-creativity and the power of SoundCloud as a tool.

Horizontal lines: community, calm, confidence. The Human Rights Campaign, a civil rights organization, uses lines and rectangles in its logo to convey the core message of its work: equality and rights.

7. Dual Coding Theory. You're no doubt familiar with the statistic that our brain processes visual information 60,000 times faster than text. Dual Coding Theory states that both visual and verbal cues convey information, but their combination helps the brain remember it better. In other words, we need both visual and verbal information to absorb and recall information. In terms of design, this means that text should be accompanied by illustrative images as often as possible.

As in the example below, graphics are a literal illustration of primary, secondary, and tertiary colors. But to fully understand a concept, any visual should always be accompanied by textual information.

8. Cost-Benefit Analysis. Whether we realize it or not, every decision we make is subject to a cost-benefit analysis. This means we calculate the costs and benefits of an action before taking it. If the costs outweigh the benefits, we're unlikely to take the intended action. It's the developers' job to ensure that the benefits of a project outweigh the costs. This means ensuring all content is as accessible as possible to users while still fulfilling its intended purpose.

For example, take a form on a landing page. Suppose you offer your audience unique, useful contenta website template or an authoritative ebook. When developing a strategy to get users to fill out a form for this content, be sure to recreate the entire user-to-customer conversion process, taking into account the costs and benefits. In other words, don't ask for more than you need.

Conclusion:

The goal of our research is to demonstrate the intersection of psychology and graphic design. From a psychological perspective, a designer is an artist-constructor-a person who relies on associative and project-based (creative) thinking as a means of generating ideas, a kind of insight-a flash of insight. But this is only the beginning; the intellectual component comes into play next, the essence of which lies in analyzing and structuring information. At the same time, analysis should largely rely on empathy and reflection-the ability to imagine oneself in the shoes of the people for whom the product is being created, the ability to observe and understand one's own inner world.

The brains of creative people have long been of interest to doctors, psychologists, and sociologists. Numerous studies have shown that people who express themselves through scientific and artistic pursuits are more receptive to environmental stimuli. They have a lower unconscious ability to ignore unimportant stimuli. Thus, they receive more information from the outside world, and their emotional response is stronger. At the same time, a nervous system with such characteristics is more prone to overload and trauma. This explains the link between creativity and mood disorders, which scientists have identified in different countries and across time periods. These disorders most often include depressive disorders, anxiety disorders, bipolar disorders, and addictions.

References

1. Чернявская В.С., Кленина А.Н., Дефицит компетенций будущего дизайнера – проблема адаптации на рынке труда // Мир науки, культуры, образования, Горно-Алтайск, 2010, №4(23), с. 153 – 155.

2. Роджер, Дули. НейроМаркетинг. Как влиять на подсознание потребителя. Попурри, Минск, 2018, 243 с.

3. Amabile T.M. The Social Psychology of creativity. New York: Springer-Verlag, 1983. 302 c.

4. Evans R., Russel P. The Creative Manager: Finding Inner Visionand Wisdom in Uncertain Times. San Francisco: Jossey-Bass, 1992. 260 c.

5. Rogers, K. Toward a Theory of Creativity: A View of Psychotherapy, 1964, 342 p.

6. Ross C., Something to draw on: Activities and Interventions using an Art Therapy Approach, London; Boston: Jessica Kingsley Publishers, 1997, 117 p.

7. How to Influence the Readers Mind through Font Psychology (/ URL: https://www.designzzz.com/font-psychology/

8. Lidwell, William, et al. Universal Principles of Design. 125 Ways to Enhance Usability, Influence Perception, Increase Appeal. Rockport Publishers, Beverly Massachusetts, 2022. https://www.labirint.ru/books/913443/ Accessed 16.11.2023.

SECTION OF SOCIAL AND ECONOMIC SCIENCES

COMPARATIVE ANALYSIS OF TYPES OF COGNITIVE-BEHAVIORAL THERAPIES IN CHILDREN WITH LEARNING DIFFICULTIES

Kutsarova E.
Doctoral Student,
Department of Social Medicine, Preventive Medicine and Disaster Medicine,
Faculty of Public Health "Prof. Tzekomir Vodenicharov, MD, DSc",
Medical University – Sofia
Hristov N.
Scientific supervisor,
Associate professor, MD, PhD
Department of Social Medicine, Preventive Medicine and Disaster Medicine,
Faculty of Public Health "Prof. Tzekomir Vodenicharov, MD, DSc",
Medical University – Sofia
Yaneva R.
Scientific supervisor,
Professor, PhD
Department of Health Management and Health Economics,
Faculty of Public Health "Prof. Tzekomir Vodenicharov, MD, DSc",
Medical University - Sofia
DOI: 10.5281/zenodo.18195242

Abstract

The authors of the present study aim to present a comparative analysis of different forms of cognitive-behavioral therapy (CBT) in children with learning difficulties. An analytical review of contemporary literature sources in the PubMed and Web of Science databases was conducted. Data are presented on individual CBT, group CBT in the school setting, cognitive-behavioral play therapy, programmes based on parent training, combined parent–child interventions, and computer-based CBT programmes.

Keywords: Cognitive-behavioral therapy, Children, Learning difficulties, Specific learning Disorders, Inclusive education.

Introduction

Learning difficulties/disorders, and more specifically specific learning disorders, affect a significant proportion of school-age children. They are associated not only with lower academic achievement but also with an increased risk of anxiety, depression, behavioral problems and social isolation [7].

Among the most thoroughly studied psychotherapeutic approaches in children and adolescents is cognitive-behavioral therapy (CBT). It has proven effectiveness for anxiety disorders, depression, behavioral disorders and chronic stress in the school environment [2,15]. In recent years, there has been a growing interest in adapting CBT for children with learning difficulties, both in clinical and school contexts.

Theoretical foundations of cognitive-behavioral therapy in children

CBT is based on the assumption that thoughts, emotions and behavior are interconnected; changes in cognitive schemas and behavioral patterns lead to a reduction of psychological distress and to more adaptive functioning (Beck, 2011). In children, therapeutic techniques are adapted to developmental characteristics – metaphors, stories, drawings, games, role-plays and behavioral experiments are used.

According to contemporary systematic reviews, CBT in children can be viewed along a continuum from "formal psychotherapy" to "cognitive-behavioral techniques embedded in educational practice", which are often implemented by school psychologists and guidance counselors [15].

In children with learning difficulties, CBT aims not only to reduce emotional and behavioral symptoms but also to:

- improve academic motivation and self-esteem;
- manage stress induced by the school environment;
- develop self-regulation skills and executive functions;
- prevent secondary psychopathology (anxiety and depressive disorders, behavioral disorders).

Characteristics and psychosocial needs of children with learning difficulties

Definition and classification

The concept of "learning difficulties" covers a broad spectrum of conditions – from specific learning disorders (dyslexia, dyscalculia, disorders of written expression) through children with intellectual disabilities to children with chronic diseases and behavioral problems that lead to significant difficulties in the learning process [6].

In international classifications (DSM-5, ICD-11), specific learning disorders are defined as academic achievement in at least one area significantly below what is expected, which cannot be explained by intellectual disability, sensory impairments or inadequate schooling.

Comorbidity and mental health

Studies show a strong association between learning difficulties and behavioral/emotional problems – particularly externalizing behavior (aggression, hyperactivity) and attention deficits [7]. Children with learning difficulties often develop:

- low self-esteem and a sense of incompetence;
- avoidance of school tasks;
- secondary anxiety (fear of failure, test anxiety);
- depressive symptoms and social withdrawal.

A group with such characteristics is highly suitable for CBT interventions targeting cognitive distortions (e.g. "I am stupid", "I will never succeed") and avoidance behaviors (procrastination, refusal to do homework, truancy).

Aim

The present study aims to provide a comparative analysis of different forms of cognitive-behavioral therapy (CBT) in children with learning difficulties on the basis of an analytical literature review.

To achieve this aim, we set the following objectives:

- To outline the characteristics of the group "children with learning difficulties" and their specific psychosocial needs.
- To present the main types of CBT interventions applied in this group of children.

Methods: literature review

A targeted review of articles in English was carried out in the PubMed and Web of Science databases (2010–2025), using the keywords "cognitive-behavioral therapy", "children", "learning disabilities", "specific learning disorder", "school-based CBT", "parent training", "play therapy". More recent publications up to 2025 identified via snowballing through reference lists were also included.

The review covered:

- randomized controlled trials (RCTs);
- quasi-experimental and pilot studies;
- systematic reviews and meta-analyses;
- articles focusing on school-based interventions and the role of school psychologists.

The present article is an analytical review.

Analysis of the results

Comparative analysis of types of cognitive-behavioral interventions in children with learning difficulties

Individual cognitive-behavioral therapy is most often used in children with learning difficulties to:

- reduce anxiety and emotional disorders;
- improve attention and executive functions;
- address academic stress and burnout.

The results of a randomized controlled trial by Molaie (2024) show that 10 sessions of individual CBT (90 minutes each over 5 weeks) in children aged 9–12 years with learning difficulties significantly improve emotional processing and selective attention compared to a control group without intervention [12].

Similar results are observed in CBT programmes targeting academic burnout and related emotional problems. Onuorah, Aneke and Eseadi (2025) report that a 16-session CBT protocol significantly reduces academic burnout in gifted students with learning difficulties, with the effect being sustained over time [13].

The advantages of this type of therapy include: a high degree of individualization; the possibility to integrate specific academic tasks; and work on personal history and self-esteem.

The limitations of individual therapy are: it is resource-intensive (requires time and trained therapists); it is more difficult to scale in the school environment; it includes parents and teachers to a more limited extent, unless explicitly planned.

Group CBT in the school setting

Group school-based programmes combine CBT techniques with group dynamics and are often aimed at:

- academic stress and test anxiety;
- classroom behavior and aggression;
- problem-solving and social skills.

A meta-analysis of school-based cognitive-behavioral interventions shows a significant reduction in aggressive behavior and improvement in psychosocial functioning in students with various difficulties, including learning difficulties [2].

A recent study by Khurana (2025) on a school CBT programme for academic stress and anxiety in adolescents shows that a group intervention delivered by school staff leads to a reduction in stress and an increase in self-efficacy [8]. Although not all participants are diagnosed with learning disorders, the data are relevant for students with academic difficulties.

The advantages of this type of therapy include: high effectiveness with moderate resources – one group includes 6–10 children; natural integration into the school environment; and the possibility for normalization ("I am not alone in my difficulties") and group support.

The limitations of group CBT are: less individualization; the need to coordinate with the school timetable; and the fact that the effect may vary depending on the quality of facilitation (teacher vs. psychologist).

Cognitive-behavioral play therapy (CBPT)

Cognitive-behavioral play therapy (CBPT) combines CBT principles with playful, symbolic and expressive methods that are suitable for preschool and early school-age children.

Azizi (2020), in a randomized controlled trial, shows that CBPT improves sustained attention in children with specific learning disorders, although the effect on working and short-term memory is not significant [1].

Other studies demonstrate that cognitive-behavioral play therapy reduces social anxiety and increases academic self-efficacy in students with learning difficulties (e.g. pilot RCTs published after 2023).

The advantages of this type of therapy include: high engagement of younger children; the possibility for indirect work on cognitions through play and metaphor; and good potential for integration into resource centers and therapeutic rooms in schools.

The limitations of CBPT are related to: the need for specialized training of therapists; a more limited evidence base compared to classical CBT in older children; and difficulties in standardizing protocols.

Programmes based on parent training (Behavioral Parent Training, CBT-informed)

Parent training based on behavioral and cognitive-behavioral principles is particularly important for children with learning difficulties and comorbid behavioral problems (e.g. ADHD, oppositional behavior).

Large meta-analyses of parent training show moderate to large effects on the reduction of antisocial behavior and improvement of parenting practices [3], cited in Matthys [11]. CBT-informed parent programmes teach parents to apply techniques such as:

- positive reinforcement;
- structured routines;
- consistent consequences;
- cognitive restructuring of negative parental beliefs ("the child is lazy", "the child will never cope") [4,5,17].

Based on studies in children with ADHD and learning difficulties, it is concluded that parent training can also indirectly improve academic functioning – by reducing conflicts and increasing engagement with school tasks [14].

The advantages of this type of intervention include: an impact on the child's primary environment – the home; the possibility for long-term changes in family dynamics; and good compatibility with school-based interventions.

The limitations of parent training are: it requires motivation and stability on the part of parents; it has a weaker direct effect on specific academic skills; and cultural barriers (stereotypes about parental "guilt", stigma).

Combined parent–child CBT programmes

Combined programmes (e.g. Combined Parent–Child CBT) address both the child's cognitive-behavioral deficits and parental patterns. Protocols such as CPC-CBT include joint parent–child sessions to develop skills for emotional regulation and positive communication.

According to Lebowitz et al. (2019), a purely parent-based approach aimed at reducing parental accommodation can be as effective as direct child CBT in anxiety disorders [9]. This raises the question of the potential of similar models in children with learning difficulties – especially when direct CBT is hampered by cognitive deficits.

The advantages of this type of therapy include: a synergistic effect – change in both the child and the parent; natural transfer of new skills into everyday life; and potential for more sustainable outcomes.

The limitations of combined programmes are related to: even greater resource and organizational complexity; and fewer available studies focused specifically on learning difficulties.

Computer- and internet-based cognitive-behavioral programmes

In recent years, computer-based cognitive and cognitive-behavioral programmes for children with learning difficulties have been developed, targeting attention, working memory and cognitive flexibility.

A study by Looney (2024) shows that two computer-based cognitive training programmes (CCT) improve working memory, cognitive flexibility and processing speed in students from grades 3 to 6 with different learning difficulties, and demonstrates a model for integrating such interventions into the school day without interrupting curricular content [10].

Although these programmes are more akin to cognitive training than pure CBT, they are often combined with CBT techniques for motivation, self-monitoring and stress management.

The advantages of this type of intervention include: high potential for scalability in the school environment; attractiveness for children; and the possibility for remote delivery.

The limitations are: the need for technological resources and support; the risk of reducing the therapeutic process to "computer games" if not integrated into a broader psychosocial approach; and a limited evidence base for specific learning disorders.

Conclusion

Cognitive-behavioral therapies represent a flexible and evidence-based approach for working with children with learning difficulties. Based on the review of available international data, we arrive at the following conclusions:

- individual CBT is particularly effective for emotional and stress-related problems;
- group school-based programmes have strong preventive potential and are suitable for large-scale implementation;
- cognitive-behavioral play therapy is promising for younger children;
- parent-based and combined programmes ensure sustainable changes at the family-system level;
- digital and computer-based interventions can broaden access to support.

References

1. Azizi, Amir, et al. "Effect of cognitive - behavioral play therapy on working memory, short-term memory and sustained attention among school-aged children with specific learning disorder: a preliminary randomized controlled clinical trial." Current Psychology, vol. 39, no. 6, Dec. 2020, pp. 2306+. Gale Academic OneFile, link.gale.com/apps/doc/A639594560/AONE?u=anon~49a76ad&sid=googleScholar&xid=0c9fe11c. Accessed 3 Dec. 2025. Date: Dec. 2020

2. Barnes, T. N., Stephen W. Smith, M. David Miller (2014). School-based cognitive-behavioral interventions in the treatment of aggression in children and youth: A meta-analysis. *Educational Research Review, 13*, 45–60. https://doi.org/10.1016/j.avb.2014.04.013 ScienceDirect

3. Beelman, A., Arnold, L. S., & Hercher, J. (2023). Parent training programs for preventing and treating antisocial behaviour in children and adolescents: A comprehensive meta-analysis of international studies. Aggression and Violent Behavior, 68, 101798. https://doi.org/10.1016/j.avb.2022.101798 [цитиран в Матис)

4. Behavior Modification and Parent Training in CBT for Children, October 14, (2024). https://psychology.town/psychotherapeutic-methods/behavior-modification-parent-training-cbt-children/

5. CDC. (2024) Attention-Deficit / Hyperactivity Disorder (ADHD). Parent Training in Behavior Management for ADHD, May 15, 2024. https://www.cdc.gov/adhd/treatment/behavior-therapy.html

6. Efthymiou E, Katsarou DV, Sofologi M, Megari K, Papadopoulou S, Mantsos E, Daiban S. A Systematic Review of School-Based Behavioral Interventions and the Symbolic Labor of Inclusion for Children with Chronic Illness. Healthcare (Basel). 2025 Aug 11;13(16):1968. doi: 10.3390/healthcare13161968. PMID: 40868584; PMCID: PMC12385309.

7. Gabriel, T., M. Börnert-Ringleb (2023). The intersection of learning difficulties and behavior problems in children. *Frontiers in Education*. Vol.8 https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1268904

8. Khurana, M. (2025). Effectiveness of a school-based cognitive behavioral therapy intervention for managing academic stress and anxiety in adolescents. *Journal of Contemporary Counseling Practice*. Vol.11 (8) 525-532. DOI: 10.61336/jccp/25-08-75

9. Lebowitz ER, Marin C, Martino A, Shimshoni Y, Silverman WK. Parent-Based Treatment as Efficacious as Cognitive-Behavioral Therapy for Childhood Anxiety: A Randomized Noninferiority Study of Supportive Parenting for Anxious Childhood Emotions. J Am Acad Child Adolesc Psychiatry. 2020 Mar;59(3):362-372. doi: 10.1016/j.jaac.2019.02.014. Epub 2019 Mar 7. PMID: 30851397; PMCID: PMC6732048.

10. Looney, L., Wong, E. H., Rosales, K. P., Bacon, J. M., & Wiest, D. J. (2024). Supporting Learning Differences: Effects of Cognitive Training on Cognitive Abilities in a School-Based Sample. Education Sciences, 14(1), 89. https://doi.org/10.3390/educsci14010089

11. Matthys, W., D. J. L. G. Schutter (2024). Involving parents in cognitive behavioral therapy for children with conduct problems: Goals, Outcome Expectations, and Normative Beliefs About Aggression are Targeted in Sessions with Parents and Their Child. A review. *Clinical Child and Family Psychology Review*. Vol. 27. 561-575.

12. Molaie, R. (2024). The effectiveness of cognitive-behavioral therapy on emotional processing and selective attention in children with learning disabilities. *Mental Health and Lifestyle Journal, 2*(4), 66–77. https://doi.org/10.61838/mhlj.2.4.8

13. Onuorah, A. R., Aneke, A. O., & Eseadi, C. (2025). Effect of cognitive behavioral therapy on academic burnout of gifted students with learning disabilities. *International Journal of Special Education, 40*(1), 25–36. https://doi.org/10.52291/ijse.2025.40.3

14. Raghibi M, Fouladi S, Bakhshani N M. Parent Training and Behavior Therapy on Behaviors of Children With Attention Deficit-Hyperactivity Disorder.Health Scope.2014;3(2):e15418. https://doi.org/10.17795/jhealthscope-15418.

15. Rutter, S., C. Atkinson (2023). How educational psychologists use cognitive behavioural therapy interventions: A systematic literature review. *Educational Psychology in Practice*. 96-120. https://doi.org/10.1080/02667363.2023.2274028

16. Shabani, M., Sadoughi, M., & Samkhaniani, E. (2024). Effectiveness of CognitiveBehavioral Play Therapy on Social Anxiety and Academic Self-Efficacy in Elementary School Students with Learning Disabilities. KMAN Conseling and Psychology Nexus, 2(2), 181-191. http://doi.org/10.61838/kman.psynexus.2.2.23

17. The Child & Family Institute. Behavioral Parent Training. https://childfamilyinstitute.com/fact-sheets/parenthood-center/behavioral-parent-training/

VOL 1, No 107 (2025)

Scientific discussion

(Praha, Czech Republic)

ISSN 3041-4245

The journal is registered and published in Czech Republic.

Articles are accepted each month.

Frequency: 12 issues per year.

Format - A4

All articles are reviewed

Free access to the electronic version of journal

- **Chief editor**: Zbyněk Liška
- **Managing editor**: Štěpán Kašpar
- Leoš Vaněk (Prague, Czech Republic)
- Jarmila Procházková (Prague, Czech Republic)
- Hugues Bernard (Vienna, Austria)
- Philip Brinkerhoff (Cologne, Germany)
- Zofia Jakubowska (Warsaw, Poland)
- Łukasz Woźniak (Warsaw, Poland)
- Petr Novikov (Bremen, Germany)
- Daniel Skvortsov (Salzburg, Austria)
- Lyudmila Zhdannikova (Kyiv, Ukraine)

Edition of journal does not carry responsibility for the materials published in a journal.
Sending the article to the editorial the author confirms it’s uniqueness and takes full responsibility for possible consequences for breaking copyright laws

«Scientific discussion»

Editorial board address: Korunní 1151/67, 130 00 Praha 3-Vinohrady

E-mail: info@scientific-discussion.com

Web: www.scientific-discussion.com